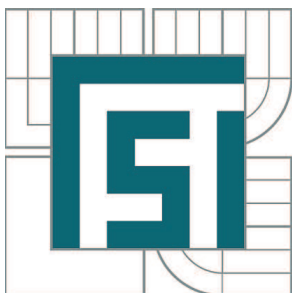


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE SOUČÁSTI CHLADICÍ VĚŽE

SOLUTION TECHNOLOGY OF COOLING TOWER COMPONENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. RADEK DOBIÁŠ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Radek Dobiáš

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Řešení technologie součásti chladicí věže**

v anglickém jazyce:

### **Solution technology of cooling tower component**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukční a funkční rozbor chladicí věže. Specifikace jednotlivých komponentů dle požadavků zákazníka, doložení v SW pro/Engineer (CREO). Vytipování součásti pro technologický návrh (využití nekonvenčních metod obrábění). Sestavení kompletní technologie. Technicko-ekonomické vyhodnocení.

Cíle diplomové práce:

Pro podmínky zákazníka vyřešit návrh chladicí věže. Sestavit nekonvenční technologii obrábění pro danou součást. V podmínkách menší strojírenské firmy doložit TPV dokumentaci. Formulovat přínosy pro firmu.

Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, Petra, Michael Lars George HILL and Miroslav PÍŠKA. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. Miroslav Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, Karel. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.
7. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.
8. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 31.10.2011

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Obsahem této diplomové práce je řešení výroby součásti z chladicí věže. Je navržen model chladicí věže dle specifikace zákazníka. Z ocelové konstrukce jsou vybrány 2 desky, které budou obráběny plazmovým řezáním. Je navržena technologie výroby desek. Technicko-ekonomické zhodnocení výroby porovnává 2 varianty výroby desek nekonvenčními metodami obrábění.

### Klíčová slova

chladicí věž, plazmové řezání, technologie, deska, finanční náklady

## ABSTRACT

The content of this diploma thesis is solution of production technology of cooling tower component. A model the cooling tower according to customer specifications is designed. There are selected 2 plates from steel construction that will be machined by plasma cutting. The technology of production of the plates is also proposed. Technical and economic evaluation of production compares 2 versions of plate production using unconventional metal cutting methods.

### Key words

cooling tower, plasma cutting, technology, plate, financial costs

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOBIÁŠ, Radek. *Řešení technologie součásti z chladicí věže*. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 72 s. příloh 7. Vedoucí práce. Ing. Milan Kalivoda

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Řešení technologie součásti z chladicí věže** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21. 05. 2012

Datum

Bc. Radek Dobiáš

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	10
1 KONSTRUKČNÍ A FUNKČNÍ ROZBOR CHLADICÍ VĚŽE PRO ZÁKAZNÍKA .....	11
1.1 Zadání vstupních parametrů.....	11
1.1.1 Teplota vlhkého teploměru .....	11
1.2 Návrh ocelové chladicí věže s nuceným tahem .....	12
1.2.1 CTF 100/II .....	13
1.3 Voda a její kvalita .....	13
1.4 Popis chladicího centra .....	13
1.5 Měření veličin a bezpečnost provozu .....	15
1.6 Složení komponent chladicí věže .....	15
1.7 Závěr ke konstrukčnímu a funkčnímu rozboru chladicí věže.....	16
2 SPECIFIKACE JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ DLE PARAMETRŮ ZÁKAZNÍKA V SW PROENGINEER/CREO .....	17
2.1 Sběrný bazén.....	17
2.2 Konstrukce chladicí věže .....	17
2.3 Ocelový skelet.....	18
2.3.1 Styčnick .....	19
2.3.2 Sloup .....	20
2.3.3 Průvlak .....	20
2.3.4 Vzpěra.....	21
2.3.5 Ocelová konstrukce.....	21
2.4 Obslužné konstrukce .....	22
2.4.1 Obslužná lávka.....	22
2.4.2 Žebřík.....	22
2.5 Zábradlí.....	23
2.5.1 Zábradlí bazénu a horní plošiny.....	23
2.6 Opláštění a stěny .....	24
2.6.1 Pochozí plechy .....	25
2.7 Chladicí technologie věže .....	25
2.7.1 Rozvod vody .....	25
2.7.2 Chladicí výplň.....	26

2.7.3	Eliminátory .....	27
2.8	Ventilátorová jednotka.....	27
2.8.1	Ventilátor .....	27
2.8.2	Motor .....	28
2.8.3	Difuzor .....	29
2.9	Model chladicí věže .....	29
2.10	Závěr ke specifikaci jednotlivých komponentů chladicí věže .....	30
3	VYTIPOVÁNÍ SOUČÁSTI PRO TECHNOLOGIE NMO .....	31
3.1	Řezání materiálu plazmou .....	31
3.2	Řezání materiálu kyslíkem.....	31
3.3	Segmenty ocelové konstrukce .....	32
3.4	Segmenty obslužných konstrukcí .....	32
3.5	Výběr součásti pro technologii NMO .....	32
3.6	Závěr k vytipované součásti NMO .....	33
4	NÁVRH TECHNOLOGIE (STROJNÍ ZAŘÍZENÍ, POSTUP) .....	34
4.1	Volba nekonvenční metody obrábění .....	34
4.1.1	Fyzikální princip plazmy .....	34
4.1.2	Řezání plazmatem.....	34
4.2	Strojní zařízení .....	35
4.2.1	Plazmový zdroj .....	35
4.2.2	Kompresor .....	37
4.2.3	CNC pálicí stroj .....	38
4.2.3	Filtrační a odsávací zařízení .....	40
4.2.4	Typ strojního hořáku.....	41
4.3	Jednotlivé fáze řezání plazmou.....	44
4.3.1	Předfuk.....	44
4.3.2	Pilotní oblouk.....	44
4.3.3	Startování .....	44
4.3.4	Řezací oblouk .....	44
4.3.5	Dofuk .....	44
4.4	Výrobní postup .....	45
4.4.1	Kotevní deska .....	45
4.4.2	Deska průvlaku .....	47
4.5	Základní parametry řezání .....	49
4.5.1	Vstupní proud plazmového zdroje.....	49



4.5.2 Rychlost řezání .....	49
4.5.3 Vzdálenost řezací hubice od povrchu řezaného materiálu.....	50
4.5.4 Tlak plazmového plynu .....	51
4.5.5 Šířka řezné spáry.....	51
4.5.6 Vedlejší parametry řezání .....	52
4.5.7 Nastavení hodnot parametrů řezání pro výrobu vytipovaných desek.....	52
4.5.8 Výroba kotevní desky .....	53
4.5.9 Výroba desky průvlaku .....	54
4.6 Výrobní vady plazmového řezání .....	55
4.7 Bezpečnost a ekologie při práci .....	56
4.8 Závěr k návrhu technologie .....	57
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	58
5.1 Využití materiálu .....	58
5.1.1 Využití a zhodnocení materiálu kotevní desky.....	58
5.1.2 Využití a zhodnocení materiálu desky průvlaku.....	59
5.2 Výpočet nákladů vytipovaných desek .....	61
5.2.1 Výpočet nákladů na zhotovení výpalků plazmou .....	61
5.2.2 Výpočet ceny plazmového hořáku.....	61
5.2.3 Výpočet nákladů na výměnu spotřebních dílů.....	61
5.2.4 Výpočet nákladů mezd obsluhy .....	62
5.2.5 Celkové náklady na výrobu kotevní desky a desky průvlaku.....	63
5.2.6 Technické zhodnocení výroby vytipovaných desek .....	64
5.2.7 Závěr k technicko-ekonomickému zhodnocení .....	64
6 DISKUZE .....	65
ZÁVĚR .....	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	68
SEZNAM PŘÍLOH.....	72

## ÚVOD

Dle zadaných parametrů pro chemicko-farmaceutický závod je navržena chladicí věž. Konkrétně se jedná o chladicí věž s nuceným tahem. Tento návrh je namodelován ve 3D programu Pro/ENGINEER/Creo. Model je složen ze 4 částí: sběrného bazénu, ocelové konstrukce, chladicí technologie věže a ventilátorové jednotky. Na základě modelu chladicí věže je zpracována výkresová dokumentace. Ta slouží k výrobě skeletu chladicí věže, obslužných konstrukcí a pro tvorbu výrobních sestav pro montáž chladicí věže.

Technologická příprava výroby využívá k dělení tyčového materiálu pásovou pilu a pro dělení plechů, široké pásové oceli nekonvenční metody obrábění. Tj. řezání kyslíkem a plazmou, což jsou technologie řezání, které pracují na principu lokálního tavení a spalování materiálu. Metoda nekonvenčního obrábění bude použita na vytipované součásti ocelové konstrukce. Na součást bude navržena technologie výroby, strojní zařízení, parametry řezání, bezpečnost a ekologie práce. Samotná výroba je založena na procesu svařování ocelové konstrukce.

Technicko-ekonomické zhodnocení zahrnuje využití, zhodnocení materiálu a celkové náklady na zhotovení výpalku plazmou. Technické zhodnocení zahrnuje výrobu kotevní desky a desky průvlaku.



Obr. 1 Ukázka montáže a výroby chladicí věže a) výstavba chladicí věže, b) ukázka plazmového řezání [1,8].

# 1 KONSTRUKČNÍ A FUNKČNÍ ROZBOR CHLADICÍ VĚŽE PRO ZÁKAZNÍKA

Konstrukční a funkční rozbor chladicí věže je závislý na vstupních parametrech. Díky široké nabídce chladicího zařízení se dokážeme přizpůsobit požadavkům zákazníka.

Jsou to:

- ocelové chladicí věže s nuceným tahem,
- betonové chladicí věže s nuceným tahem,
- chladicí věže s přirozeným tahem,
- skříňové chladiče vody,
- chladicí okruhy pro mokré chlazení,
- vzduchem chlazené kondenzátory,
- nízkoteplotní strojní chlazení.

## 1.1 Zadání vstupních parametrů

Zákazník pro svůj chemicko-farmaceutický závod poskytl následující vstupní parametry pro uchlazení svého výrobního procesu.

Tab. 1.1 Zadání vstupních parametrů[1].

Zadané vstupní parametry	
Průtok vody [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]	1944
Teplota oteplené vody [ $^{\circ}C$ ]	32,0
Teplota ochlazené vody [ $^{\circ}C$ ]	24,0
Teplota vlhkého teploměru [ $^{\circ}C$ ]	20,0
Chladicí pásmo [ $^{\circ}C$ ]	8,0
Přiblížení k vlhkému teploměru [ $^{\circ}C$ ]	4,0
Tepelný výkon [MW]	17,995
Teplota suchého teploměru [ $^{\circ}C$ ]	25,0
Relativní vlhkost [%]	64
Atmosférický tlak [kPa]	96,96

### 1.1.1 Teplota vlhkého teploměru

Vlhká teplota je teplota, kterou ukazuje takzvaný vlhký teploměr, což je teploměr, jehož teploměrná nádobka (čidlo) je obalena tkaninou napuštěnou destilovanou vodou. Vztah mezi teplotou, vlhkostí a vlhkou teplotou je natolik výrazný, že se používá při měření vlhkosti takzvanou psychrometrickou metodou.

Psychrometr se skládá ze dvou teploměrů, jednoho normálního a jednoho vlhkého. Rozdíl mezi oběma teplotami je tím větší, čím je menší relativní vlhkost [2].

Tab. 1.2 Určení vlhkosti vzduchu pomocí psychrometrické tabulky[3].

Teplota vzduchu	Rozdíl teplot na obou teploměrech														
[°C]	1	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	
0	80	60	51	41	32	22	13	4							
2	82	64	55	47	38	30	21	13	5						
4	84	67	59	51	44	36	29	21	14						
6	85	70	63	56	48	41	35	26	21	14	8				
8	86	72	66	59	53	46	40	34	27	21	15	6			
10	87	74	68	62	56	50	44	39	33	27	22	16	11	6	
12	88	76	70	65	59	54	48	43	38	33	28	23	18	13	
14	89	78	72	67	62	57	52	47	42	37	32	28	23	19	
16	89	79	74	69	64	60	55	50	46	41	37	33	28	24	
18	90	80	76	71	66	62	58	53	49	45	41	37	33	29	
20	91	81	77	73	68	64	60	56	52	48	44	40	37	33	
22	91	82	78	74	70	66	62	58	54	51	47	43	40	39	
24	91	83	79	75	71	68	64	60	57	53	50	46	43	40	
26	92	84	80	76	73	69	66	61	59	55	52	49	46	43	
28	92	84	81	77	74	71	67	64	60	57	54	51	48	45	
30	93	85	82	78	75	72	68	65	62	59	56	53	50	47	
32			83	79	76	73	70	67	64	61	58	55	52	49	
34							71	68	65	62	59	57	54	51	

Pomocí psychrometrické tabulky jsme ověřili, že zadané vstupní hodnoty relativní vlhkosti odpovídají naměřeným hodnotám.

### 1.2 Návrh ocelové chladicí věže s nuceným tahem

Chladicí věž s nuceným tahem slouží k odvádění nízkopotencionálního tepla vznikajícího ve výrobním procesu. Využívají atmosférického chlazení s mokrou technologií a nuceným tahem[4]. Protiproudým průchodem vzduchu a teplé vody v chladicí výplni dochází k vlastnímu předání tepla. Proudění vzduchu zajišťuje axiální ventilátor. Eliminátory zabraňují vynášení drobných kapek mimo prostor věže. Důvody, proč zvolit chladicí věž s nuceným tahem:

- odvádění nízkopotencionálního tepla vznikajícího ve výrobním procesu,
- atmosférické chlazení s mokrou technologií a nuceným tahem,
- snadná a rychlá výstavba,
- vysoká účinnost,
- výstavba nové chladicí věže CTF je o 25 - 30 % levnější než oprava původní chladicí věže,
- delší periody mezi jednotlivými opravami,
- vyšší odolnost vůči klimatickým podmínkám,
- snadná přeprava standardními ISO kontejnery,
- jednoduchá demontáž po ukončení životnosti,
- plně recyklovatelná, šetří životní prostředí.

### 1.2.1 CTF 100/II

Nabídka chladicích věží je od minimálního průtoku  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  pro chladicí věž CTF 50/I až po maximální průtok  $27000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  pro chladicí věž CTF 325/V, kde arabské číslice vyjadřují velikost účinné chladicí plochy  $\text{m}^2$  a římské číslice označují počet buněk věže.

Tab. 1.3 Návrh chladicí věže dle zadaných parametrů.

Zadané parametry		Návrh CTF 100/II
Průtok vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	1944	1280 - 3200
Tepelný výkon [MW]	17,995	17,5 – 37,4

Z tabulky je patrné, že navrhované parametry jsou vyhovující pro zadání. Dostatečná rezerva umožňuje v budoucnu zatížit tuto chladicí věž větším průtokem vody i tepelným výkonem.

Tab. 1.4 Specifikace chladicí věže CTF 100/II.

Specifikace chladicí věže	
Typ	CTF 100
Počet buněk	2
Plocha jedné buňky [ $\text{m}^2$ ]	78,98
Délka [m]	9,38
Hloubka [m]	8,42
Výška bez difuzoru [m]	7,6
Hydraulické zatížení [ $\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	13,67
Rychlost vzduchu chladicím systémem [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	2,94
Průtok vzduchu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	209
Překážky plochy chladicí věže [%]	10
Odpar [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	22,87
Úlet (orientační hodnota) [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	0,019

Specifikace a výsledné chladicí hodnoty pro určení vhodného typu chladicí věže jsou získány za využití firemního softwaru.

### 1.3 Voda a její kvalita

Pro provozování chladicího okruhu musí být zajištěna nezávadná oběhová chladicí voda, která by nenarušovala správnou funkci celého zařízení. Z tohoto důvodu se musí provádět pravidelné odluhování. Podle potřeby mechanická, případně chemická úprava vody. Mechanická ochrana se užívá na odstranění hrubých mechanických nečistot (např. česla, síta). Na odstranění jemných částic, zanášejících systém se provádí chemická úprava, rovněž tak při výskytu biologického oživení (např. řasy) se dává vhodný přípravek. Chladicí voda musí odpovídat svojí kvalitou a svými parametry předepsaným hodnotám.

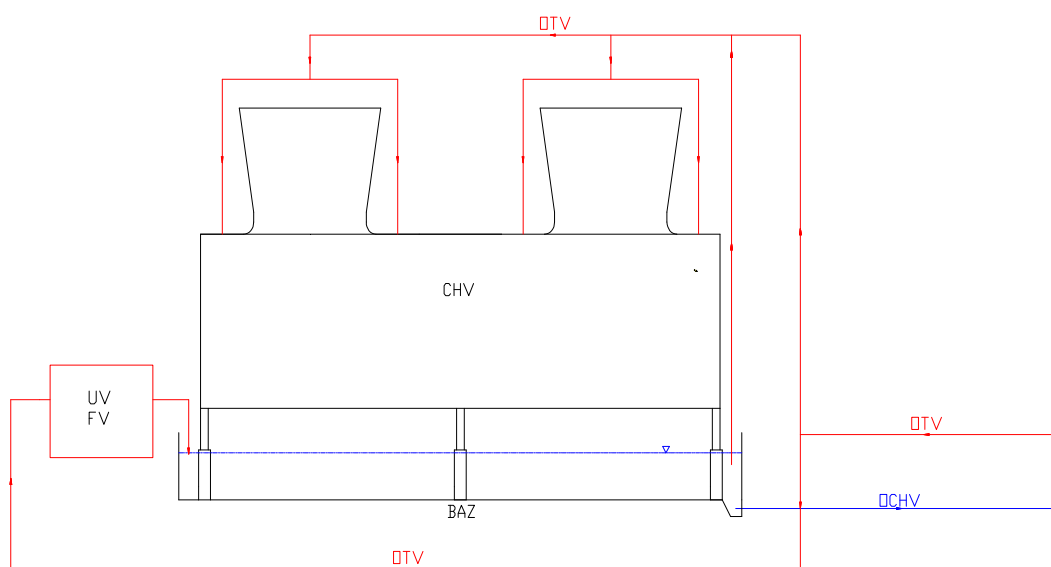
### 1.4 Popis chladicího centra

Okruh chladicí vody s maximálním průtokem  $Q_1 = 1944 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  je tvořen dvěma buňkami chladicí věže, sběrným bazénem ochlazené vody se sací jímku čerpací stanice, dvěma provozními a jedním záskokovým čerpadlem, filtrační stanicí, chemickou úpravnou vody a potrubím vedeném ochlazenou vodu do technologie a potrubím vedoucím oteplenou vodu zpět do chladicích věží.

Součástí chladicího okruhu je přívod doplňkové vody do systému, přepad chladicí vody z bazénu chladicí věže a odluh do kanalizace.

Oteplená chladicí voda z technologie je přivedena do jednotlivých buněk chladicí věže, kde je ochlazována a padá do sběrného bazénu pod chladicí věží. Tam je spojen se sací jímky čerpací stanice, odkud je ochlazená voda tlačena 2 vertikálními čerpadly zpět do technologie.

Chladicí voda je neustále doplňována upravenou filtrovanou a oteplenou upravenou vodou. Doplnění je řízeno v závislosti na výši hladiny v sací jímce čerpadel. Část ochlazené vody za výtlačkem čerpadel je filtrována v boční pískové filtraci a vedena zpět do sací jímky čerpadel. Praní filtrem pracuje automaticky. Voda z praní je vedena do jímky odpadní prací vody, odkud je v závislosti na výšce hladiny čerpadlem odvedena pryč. Kvalita chladicí vody je neustále sledována a v závislosti na těchto kvalitativních parametrech je řízen odluh a dávkování chemických přísad z jednotlivých zásobníků. Schéma chladicí okruhu je znázorněno na obr. 2.



Obr. 2 Schéma chladicího okruhu.

Legenda k obr. 2:

UV – úpravna vody

FV – filtrace vody

OCHV – ochlazená voda

OTV – oteplená voda

CHV – chladicí věž

BAZ – bazén

### 1.5 Měření veličin a bezpečnost provozu

Provoz čerpadel je regulován podle potřeby chladicí vody měničem frekvence. V případě snížení (zvýšení) kapacity chladicí vody sníží (zvýší) otáčky řízeného čerpadla. Průtok jedním čerpadlem nesmí klesnout pod minimální hodnotu danou výrobcem.

U ventilátorů jsou sledovány vibrace, teploty ložisek a stav vinutí motoru. V případě dosažení nastavených hodnot dojde k blokaci. Správný chod chladicí věže zajišťuje řada bezpečnostních prvků. Jako jsou:

- teplotní čidla,
- vibrační čidla,
- hladinová čidla,
- průtokoměry,
- ventily,
- klapky.

Všechna instalovaná zařízení splňují bezpečnostní normy. Podrobnější popis jednotlivých zařízení není předmětem této práce.

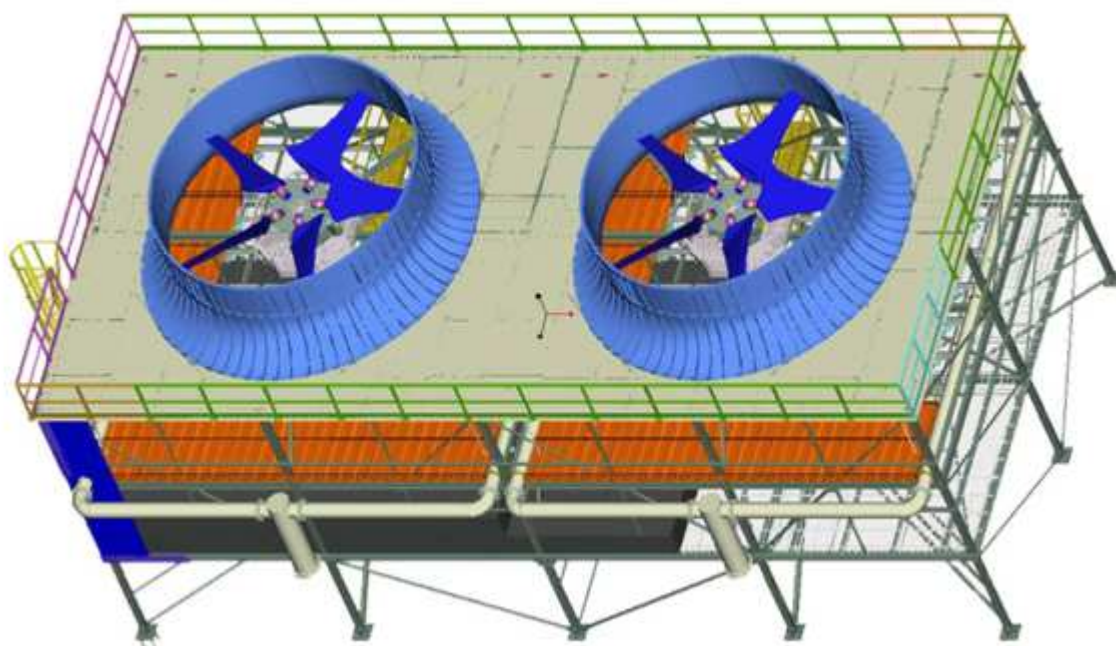
### 1.6 Složení komponent chladicí věže

Komponenty chladicí věže lze rozdělit na 4 hlavní části:

- sběrný bazén
- konstrukci,
- chladicí technologii věže,
- ventilátorovou jednotku.

Podrobnější specifikace hlavních částí bude upřesněna v následující kapitole s využitím softwaru ProEngineer/Creo. Vizualizace chladicí věže CTF 100/II je znázorněna na obr. 3.





Obr. 3 Vizualizace chladičící věže CTF 100/II [4].

### 1.7 Závěr ke konstrukčnímu a funkčnímu rozboru chladičící věže

Ze zadaných vstupních hodnot je navržena ocelová chladičící věž s nuceným tahem. Vstupní hodnoty byly ověřeny na hodnotě relativní vlhkosti na základě psychrometrické tabulky. Chladičící věž CTF100/II disponuje 2 chladičícími buňkami, které splňují vstupní požadavky na ochlazení oteplené vody. Kvalita vody výrazně ovlivňuje účinnost a funkci celého chladičícího okruhu. Chladičící okruh je stručně popsán a schéma je znázorněno na obr. 1. Provoz chladičící věže splňuje bezpečnostní normy.



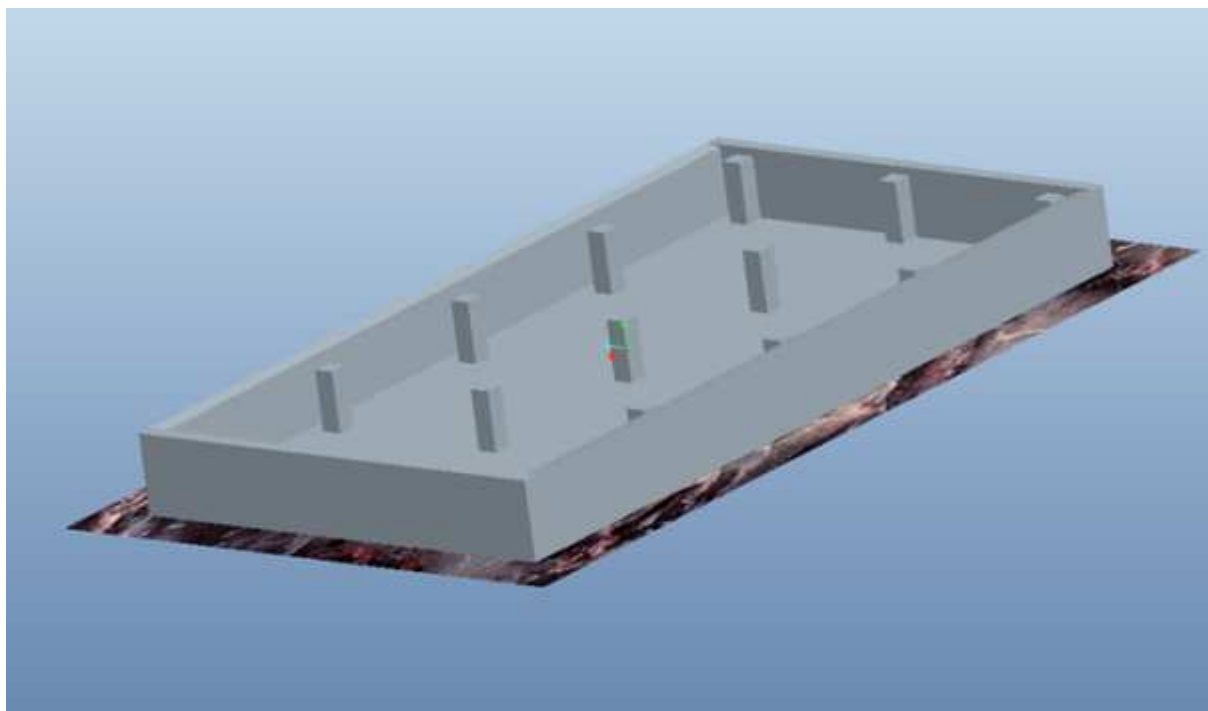
## 2 SPECIFIKACE JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ DLE PARAMETRŮ ZÁKAZNÍKA V SW PROENGINEER/CREO

Specifikace chladicí věže CTF100/II je rozdělena do 4 hlavních komponent. Jednotlivé části jsou popsány a namodelovány za užití softwaru ProEngineer/Creo. Hlavní komponenty jsou:

- sběrný bazén,
- konstrukce chladicí věže,
- chladicí technologie,
- ventilátorová jednotka.

### 2.1 Sběrný bazén

Jedná se o monolitický železobetonový bazén, na který navazuje ocelová konstrukce chladicí věže. Bazén je společný pro obě buňky chladicí věže a je spojen sacím potrubím s cirkulačními čerpadly. Bazén je konstruován jako nadzemní. Umístění sběrného bazénu, a tudíž i věže závisí na mnoha parametrech. Výstavba sběrného bazénu se navrhuje pokud možno co nejbližší hlavnímu rozvodu vody. Model bazénu je znázorněn na obr. 4.



Obr. 4 Model nadzemního bazénu chladicí věže CTF 100/II.

### 2.2 Konstrukce chladicí věže

Nosnou část chladicí věže tvoří ocelová konstrukce z konstrukční oceli (Příloha 1). Na konstrukci jsou použity normalizované průřezové tyče a spojovací materiál. Konstrukce se skládá ze svislých sloupů, vodorovných průvlaků, které tvoří jednotlivá patra pro technologické vestavby a diagonálních ztužidel. Horní patro je zakryto pochůznou plošinou. Zde jsou umístěny axiální ventilátory a difuzory. Další patro slouží pro uložení rozvodů teplé vody, eliminátorů a spodní patro pro uložení chladicí výplně.

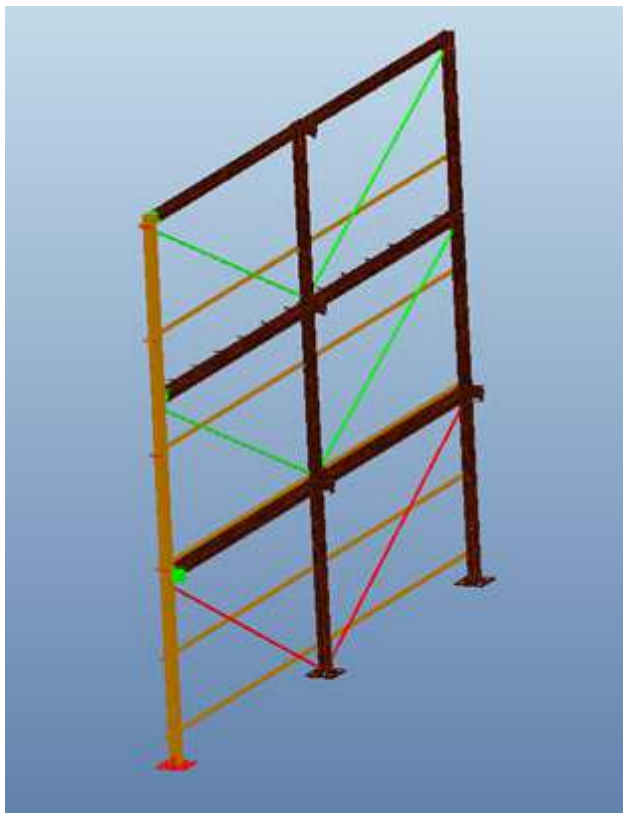
Ocelová konstrukce je složena z 2 buněk. Všechny ocelové části jsou opatřeny antikorozní povrchovou úpravou (Příloha 2). Ocelová konstrukce je navržena podle daných klimatických podmínek pro zatížení větrem a sněhem v místě výstavby. Rovněž použité svary jsou podle systému řízení jakosti ISO 9000 a specifikace svařovacích postupů WPS. Detailnější rozbor statiky a norem není předmětem této diplomové práce. Do konstrukce chladicí věže patří:

- ocelový skelet,
- obslužné konstrukce,
- zábradlí,
- opláštění a stěny.

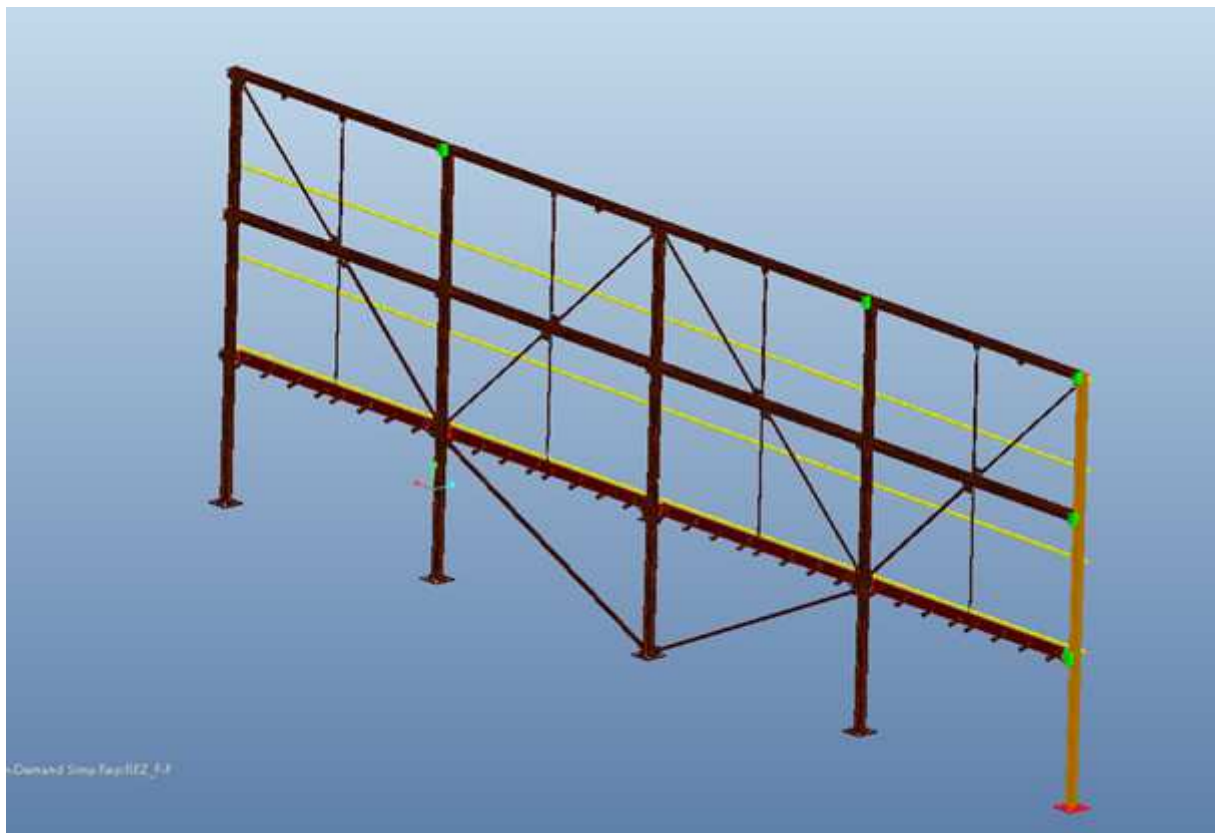
### 2.3 Ocelový skelet

Je základní nosný prvek chladicí věže. Dle požadavku zákazníka je skelet opatřen pozinkovanou povrchovou úpravou. Pro snadnější montáž je skelet rozdělen na příčné (viz. obr. 5) a podélné (viz. obr. 6) stěny. Stěny jsou tvořeny:

- styčníky,
- svislými sloupy,
- vodorovnými průvlaky,
- diagonálními vzpěrami.



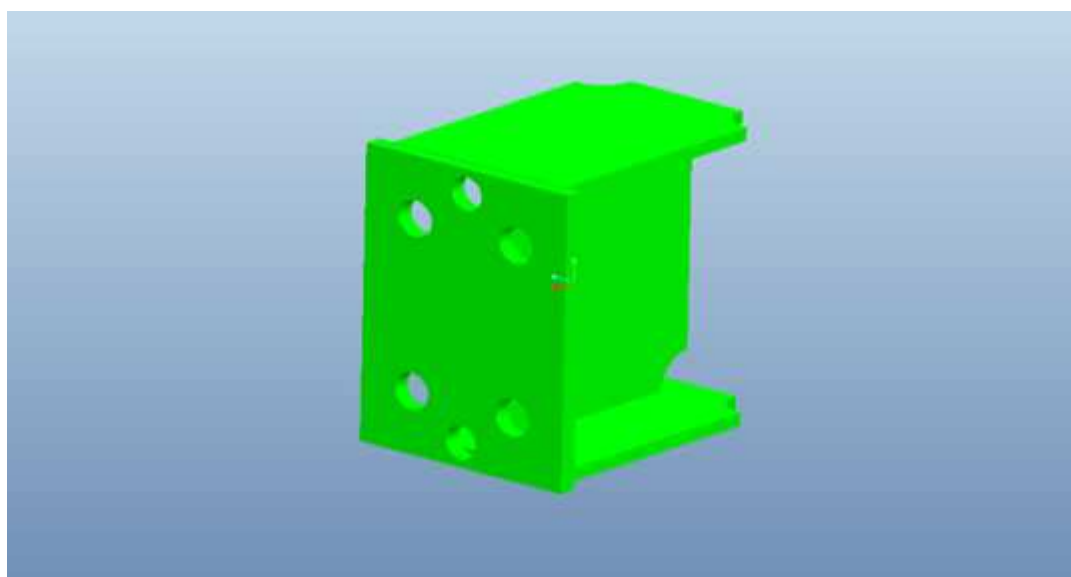
Obr. 5 Příčná stěna chladicí věže.



Obr. 6 Podélná stěna ocelové konstrukce.

### 2.3.1 Styčník

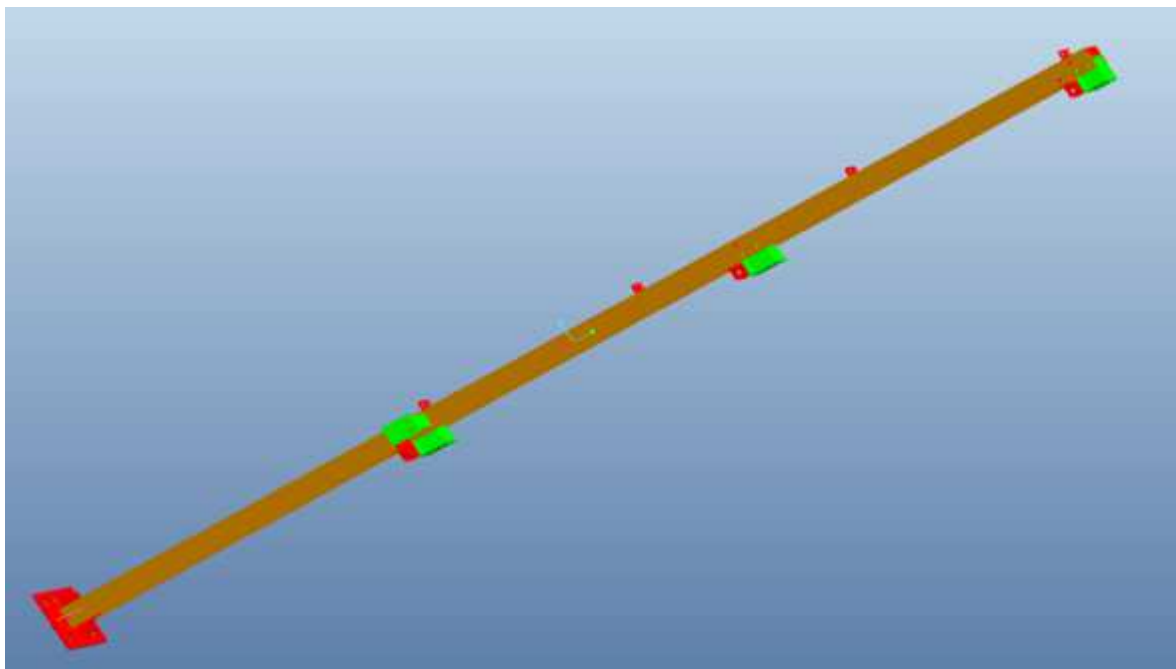
Je svařenec několika desek z konstrukční oceli. Styčník spojuje jednotlivé stěny pomocí průvlaků. Příklad styčníku je na obr. 7.



Obr. 7 Typický příklad základního styčníku.

### 2.3.2 Sloup

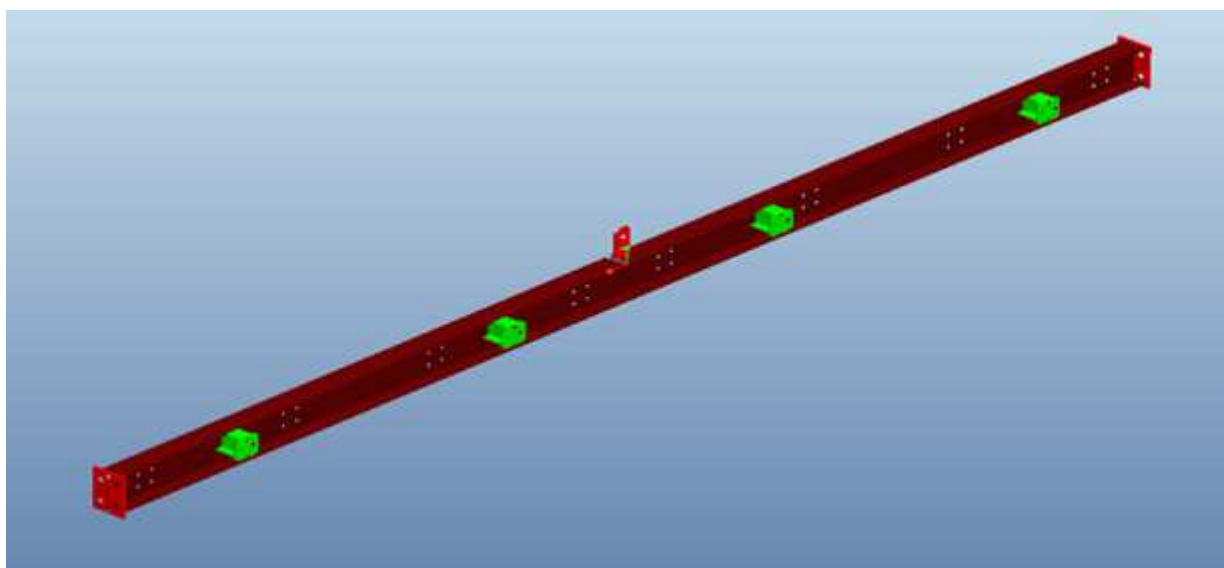
Je tvořen průřezovou tyčí a navařenými styčníky. Dle umístění ve stěně, sloup obsahuje vyvrtané otvory pro vyztužení s diagonálními vzpěrami. Navařené desky slouží pro instalaci dutých profilů, které slouží k uchycení opláštění. Kompletní sloupy jsou žárově zinkovány. Příklad obvodového rohového sloupu je na obr. 8.



Obr. 8 Obvodový rohový sloup.

### 2.3.3 Průvlak

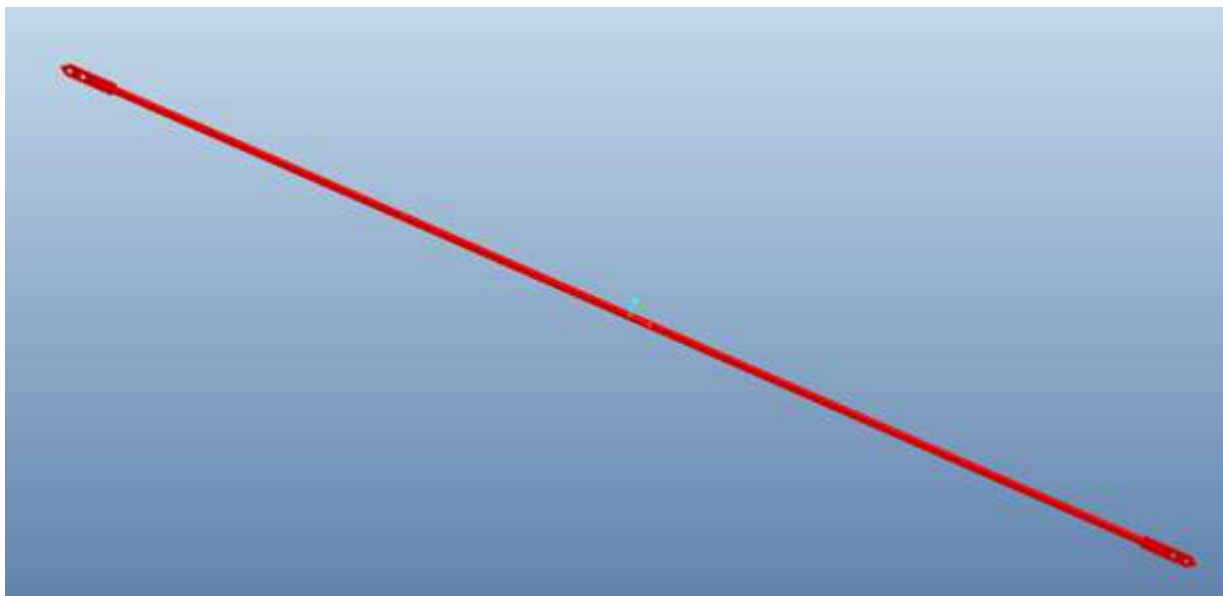
Základem průvlaku je průřezová tyč, na které jsou navařeny dle statiky a konstrukčního řešení styčníky a spojovací desky. Průvlak (viz. obr. 9) vymezuje vzdálenost jednotlivých stěn.



Obr. 9 Průvlak obvodové stěny

### 2.3.4 Vzpěra

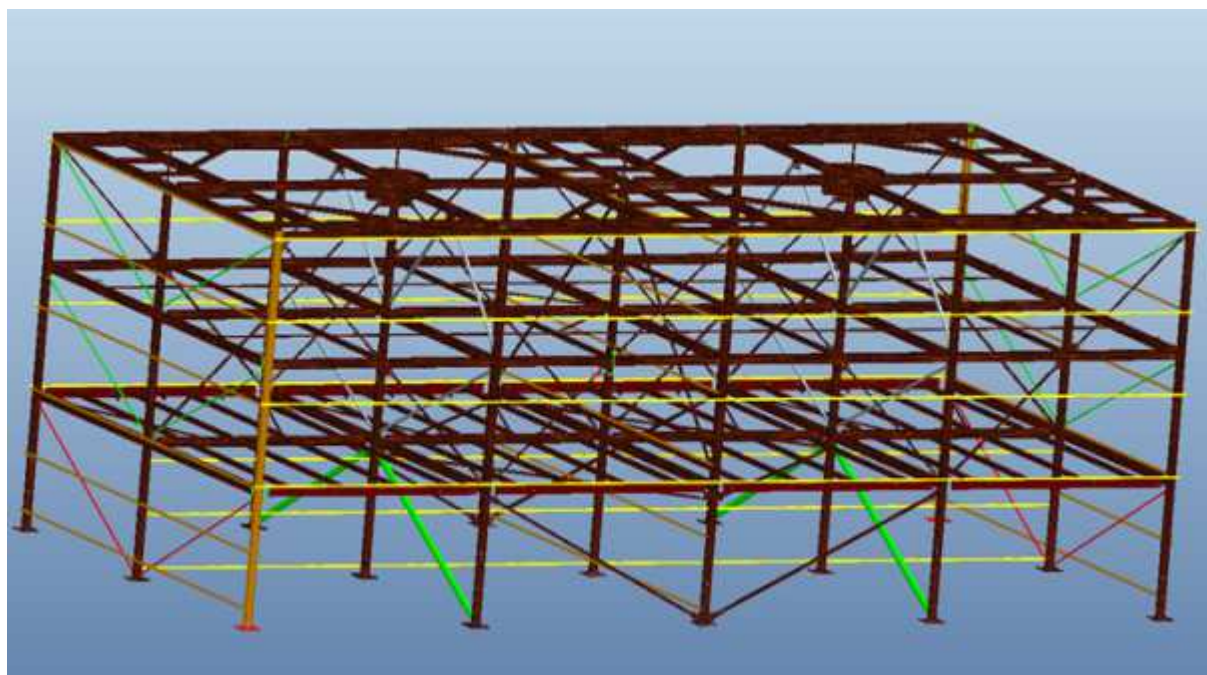
Diagonálně spojuje a zpevňuje jednotlivá patra ocelové konstrukce. Jednoduchá vzpěra z dutého profilu je na obr. 10.



Obr. 10 Vzpěra z dutého profilu.

### 2.3.5 Ocelová konstrukce

Použitím sloupů, průvlaků, styčníků a vzpěr dostáváme jednotlivé stěny. Příčné a podélné stěny tvoří ocelovou konstrukci (viz. obr. 11).



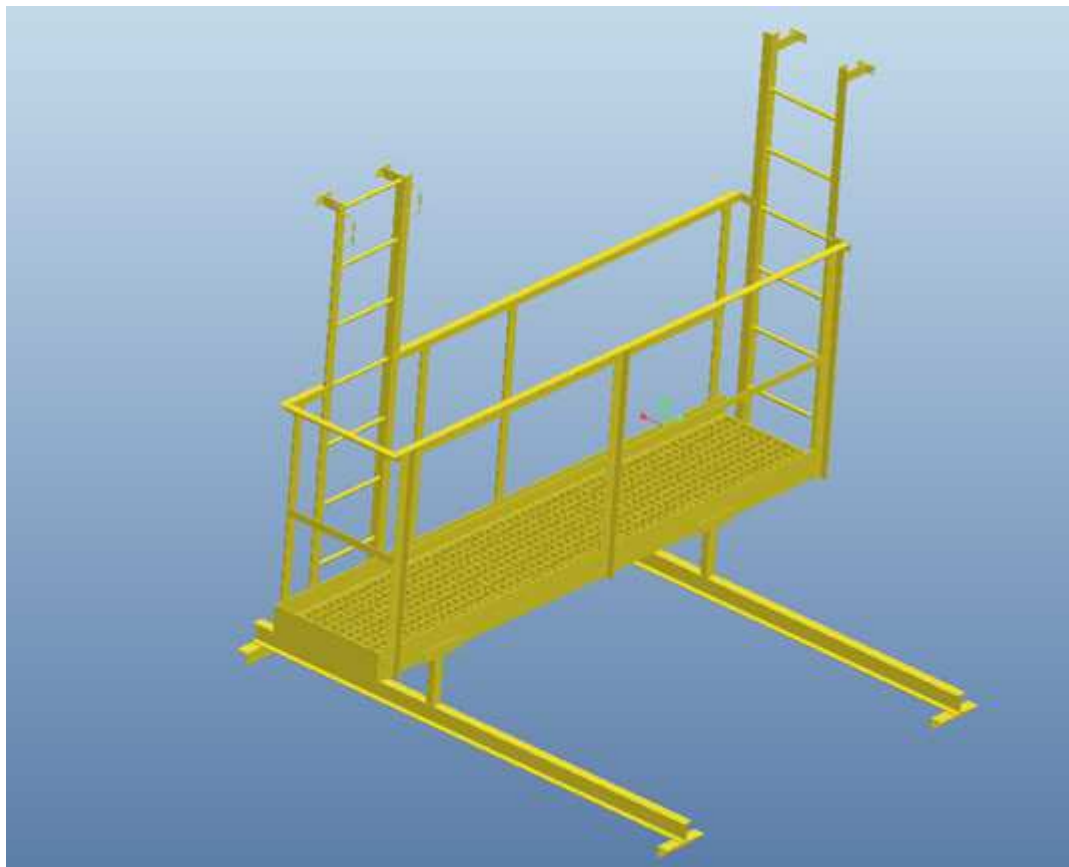
Obr. 11 Ocelová konstrukce chladičské věže CTF 100/II.

## 2.4 Obslužné konstrukce

Součástí chladicí věže jsou obslužné konstrukce, jako lávky, žebříky, vstupy, které slouží pro servisní účely a údržbu. Vstup pro tyto konstrukce je povolen pouze oprávněným osobám a je vždy třeba zajistit jejich bezpečnost a vypnutí zařízení.

### 2.4.1 Obslužná lávka

V chladicí věži je určena k údržbě motoru a ventilátorové jednotky. Podlaha lávky je tvořena normalizovanými pororošty. (viz. obr. 12).

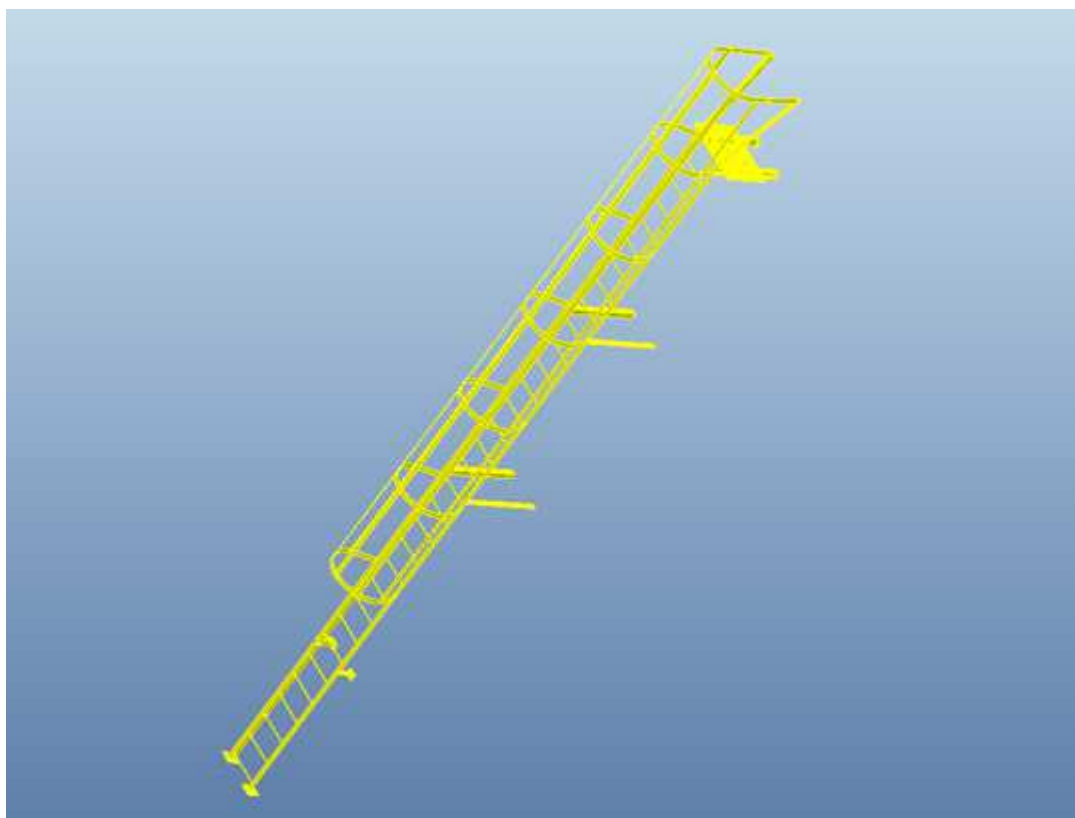


Obr. 12 Obslužná lávka pro servisní účely.

### 2.4.2 Žebřík

Přístup na horní plošinu věže je umožněn za pomoci žebříku (viz. obr. 13). Na větší věže je pro snadnější přístup preferováno schodiště.





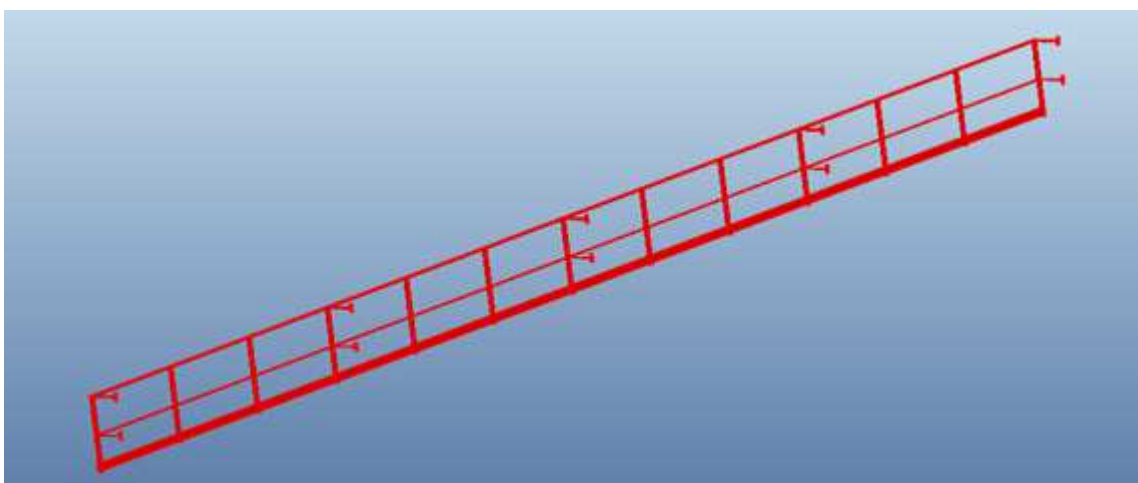
Obr. 13 Žebřík na pochozí roviny chladicí věže.

## 2.5 Zábradlí

Zábradlí je bezpečnostní prvek chladicí věže, které vyhrazuje prostor pro pohyb a brání před pracovními úrazy.

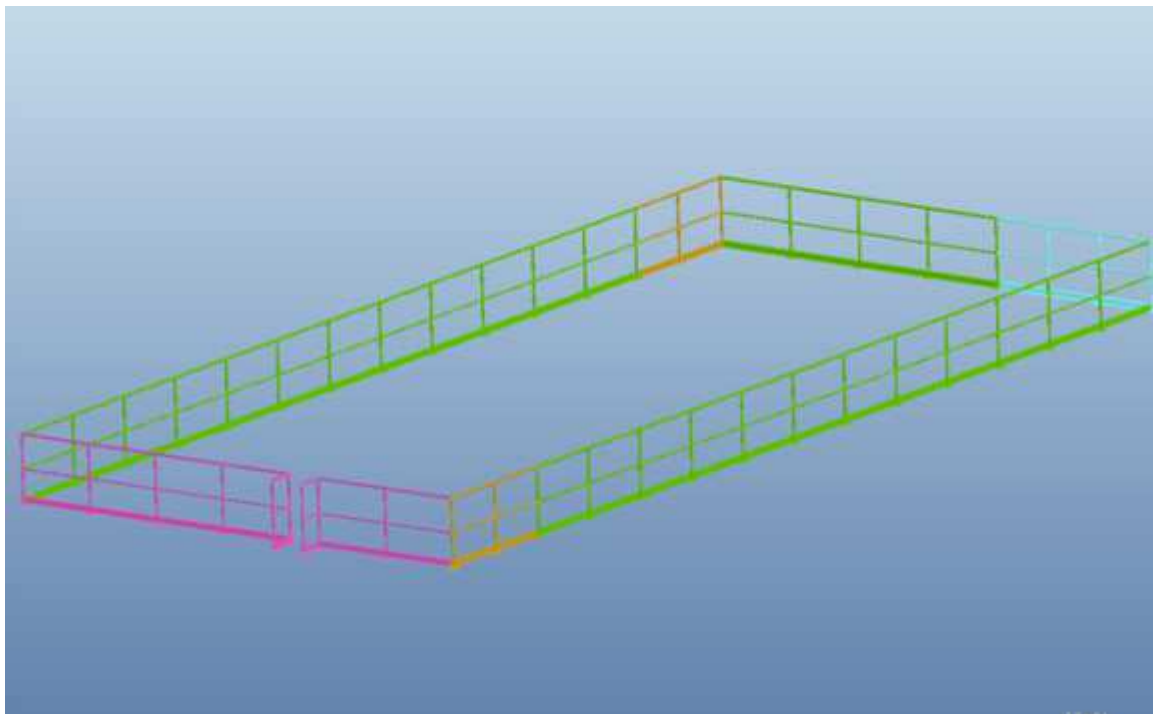
### 2.5.1 Zábradlí bazénu a horní plošiny

Zábradlí bazénu zabraňuje pádu do sběrného bazénu. Zábradlí je ukotveno do svislých sloupů (viz. obr. 14).



Obr. 14 Zábradlí bazénu chladicí věže.

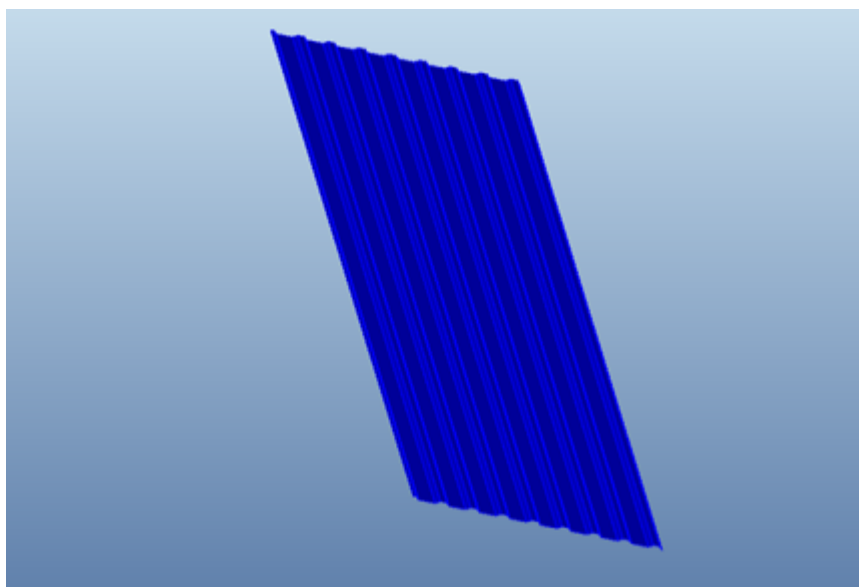
Zábradlí horní plošiny je smontováno s pochozími plechy horní plošiny. Zábradlí navazuje na žebřík či schodiště. Zábradlí se skládá ze sloupů, madel, příček a okopového plechu. Zábradlí pro 2 buňky je namodelováno na obr. 15.



Obr. 15 Zábradlí horní plošiny.

## 2.6 Opláštění a stěny

Chladicí věž je opláštěná sklolaminátovými deskami trapézového profilu. Na hranách a spojích jsou použity vhodné rohové prvky a okapnice, aby byla zajištěna těsnost a správný svod stékající vody do sběrného bazénu (viz obr. 16).



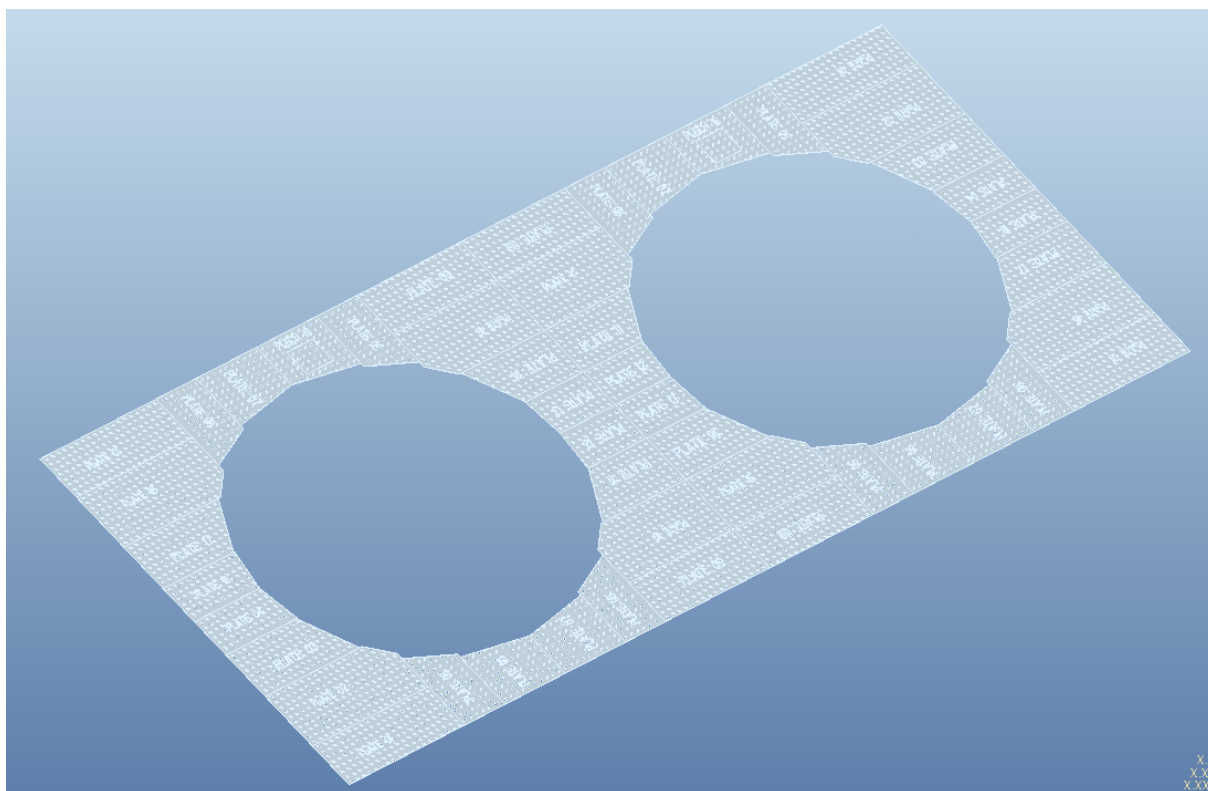
Obr. 16 Sklolaminátové opláštění chladicí věže.



Mezi jednotlivými buňkami jsou instalovány dělicí a větrové stěny ze stejného materiálu jako opláštění. Ty zajišťují správné sání vzduchu a chod ventilátorů. Veškerý spojovací a kotevní materiál je z nerezové oceli.

### 2.6.1 Pochozí plechy

Pochozí plechy zakrývají horní patro věže. Usměrnují proudění vzduchu do difuzoru a slouží k pohybu po horním patře. Celkové zakrytí horní plošiny je na obr. 17.



Obr. 17 Pochozí plechy horního patra chladicí věže.

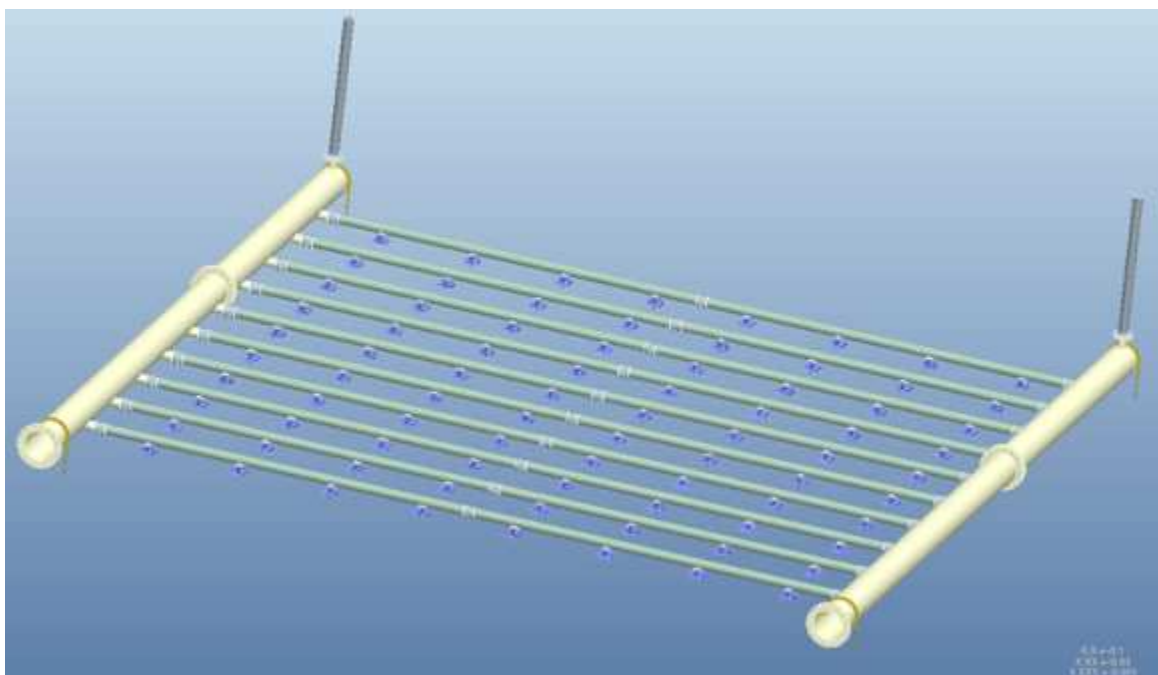
## 2.7 Chladicí technologie věže

Je charakterizována vstupem oteplené vody přívodním potrubím přes chladicí systém až do bazénu. Do této technologie patří:

- rozvod vody,
- chladicí výplň,
- eliminátory.

### 2.7.1 Rozvod vody

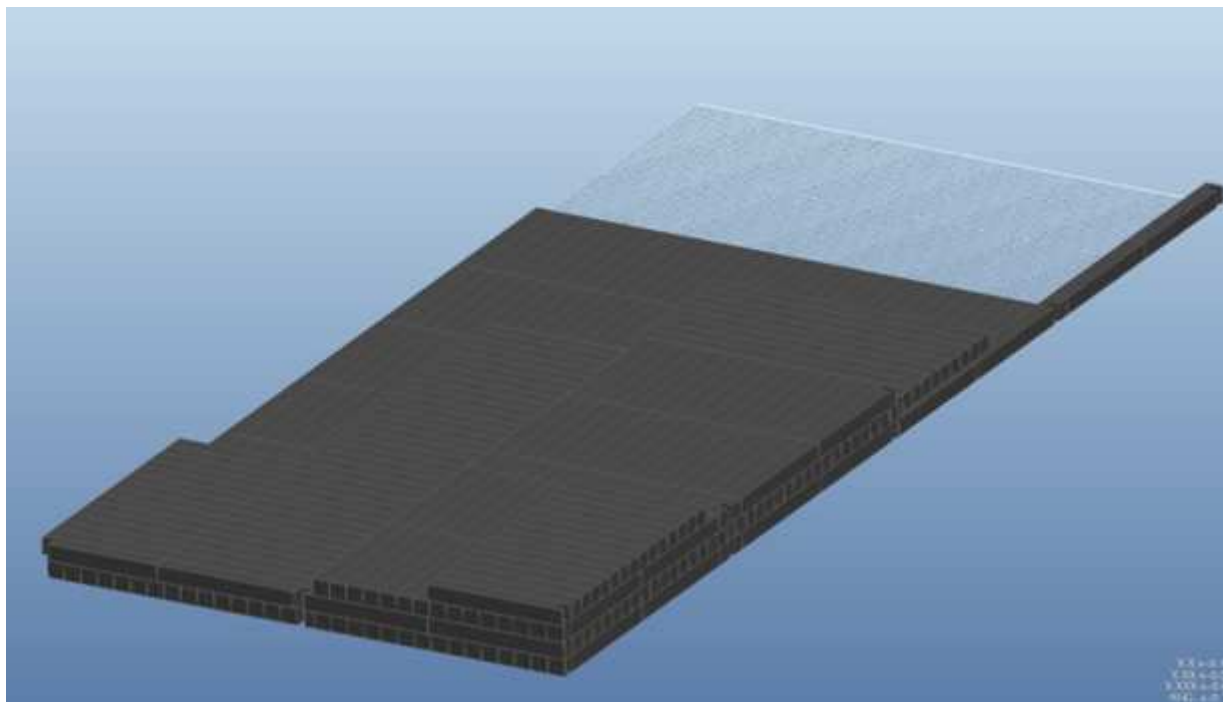
Teplá voda se přivádí do chladicí věže přívodními ocelovými potrubími. Rozvod vody je rozdělen na hlavní a vedlejší. (viz. obr. 18). Hlavní rozvody vody jsou ocelové trubky o jmenovitém průměru DN 350. Hlavní rozvody napájí soustavu pracovních PVC trubek DN 100, které jsou osázeny rozstřikovacími tryskami. Ty rovnoměrně distribuují přiváděnou oteplenou vodu na chladicí výplň. Ochlazená voda se vrací z bazénu za pomoci čerpadel zpět do výrobního procesu.



Obr. 18 Hlavní a vedlejší rozvod vody.

### 2.7.2 Chladicí výplň

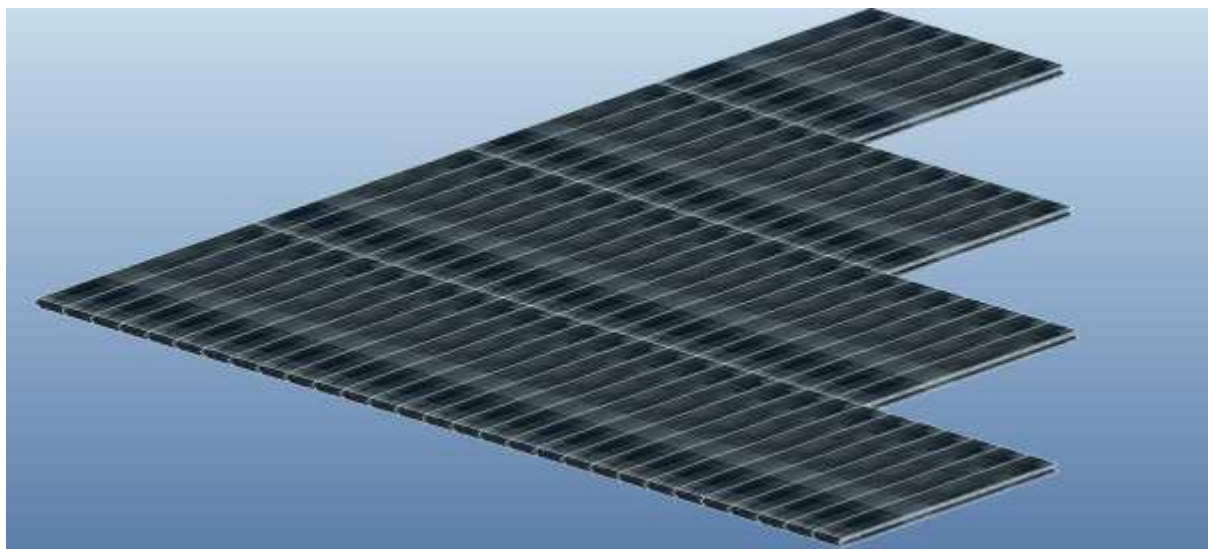
Chladicí výplň slouží pro rozložení teplé vody do co největší plochy. Je tvořena bloky, které jsou vyráběny vzájemným spojováním vlnitých fólií. Bloky fólií vytvářejí filmotvorný a kapkotvorný efekt, což zvyšuje účinek chlazení. Jednotlivé bloky jsou uloženy ve spodním patře chladicí věže ve 4 vrstvách (viz. obr. 19).



Obr. 19 Bloky chladicí výplně.

### 2.7.3 Eliminátory

Eliminátory jsou určeny pro zabránění vynášení drobných vodních kapek, které s sebou strhává chladicí vzduch proudící v chladicí věži. Eliminátory jsou uloženy na potrubí rozvodů vody (viz. obr. 20).



Obr. 20 Eliminátory zabraňují vynášení vodních kapek.

## 2.8 Ventilátorová jednotka

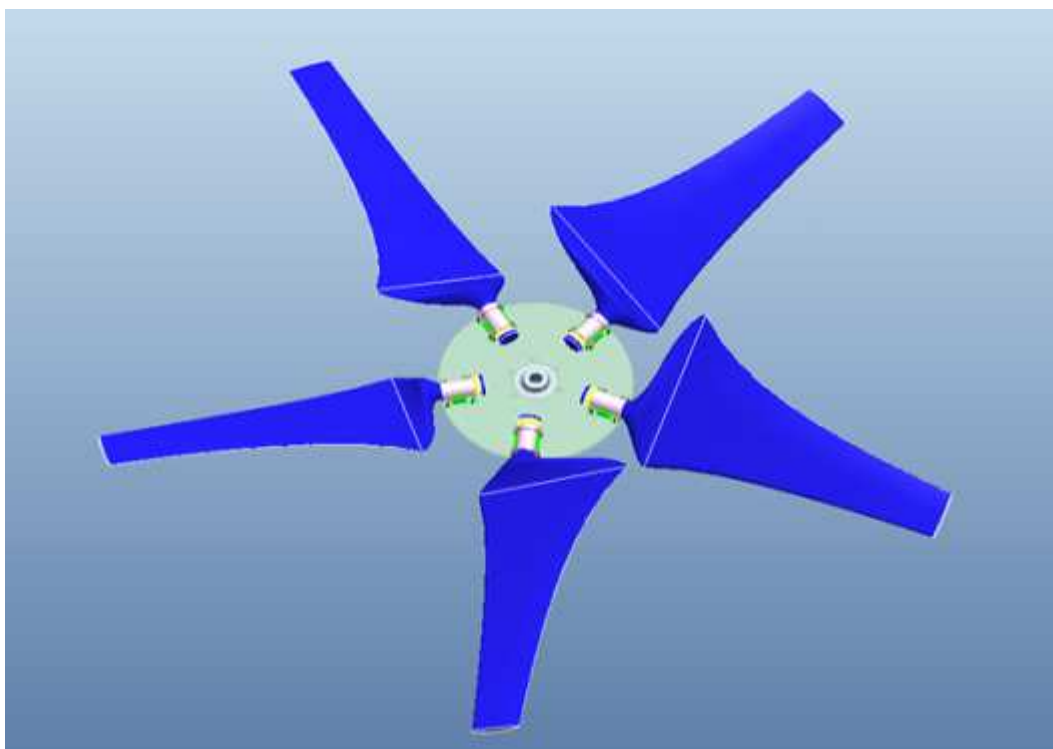
Ventilátorová jednotka slouží k odvádění nízkopotenciálního tepla vznikajícího ve výrobním procesu. Protiproudým průchodem vzduchu a teplé vody v chladicí výplni dochází k vlastnímu předání tepla. Proudění vzduchu zajišťují axiální ventilátory, které jsou řízené měničem frekvence. Hlavní části ventilátorové jednotky jsou:

- ventilátory,
- motor,
- difuzor.

### 2.8.1 Ventilátor

Pro dopravování vzduchu je v chladicí věži instalován ventilátor. Oběžné kolo axiálního ventilátoru se skládá z 5 sklolaminátových křídel oběžného kola a vlastního rotoru. Uložení křídel oběžného kola umožňuje jejich natočení. Oběžné kolo je nasazeno přímo na výstupní hřídel elektromotoru (viz. obr. 21). Ventilátor je umístěn v difuzoru, jehož průměr odpovídá průměru ventilátoru a jenž je nedílnou součástí chladicí věže. Ventilátory jsou řízeny měničem frekvence v závislosti na teplotě ochlazené vody.

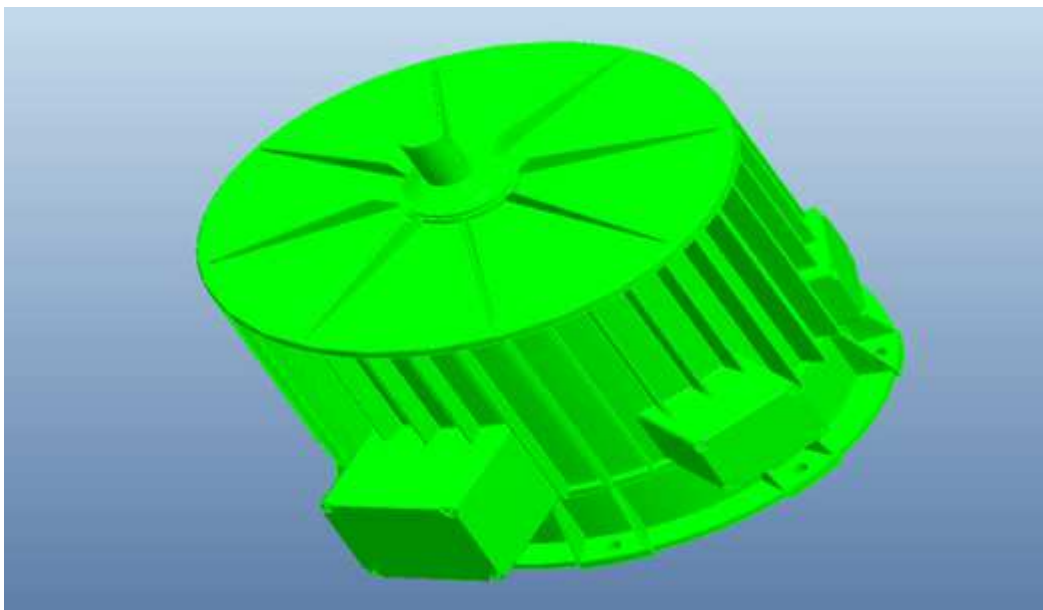
V případě, že dojde k nárůstu teploty, rychlost otáčení ventilátorů se zvýší. V případě poklesu teploty se otáčky ventilátorů sníží. Změna otáček obou ventilátorů je stejná (tzn., že oba ventilátory pracují na stejné frekvenci). Detailnější popis regulace otáček ventilátoru potažmo dalších kontrolních prvků není předmětem této práce.



Obr. 21 Ventilátor chladicí věže dle zadání.

### 2.8.2 Motor

Pro pohon tohoto ventilátoru je použit pomaloběžný motor o výkonu 75kW. Oba motory jsou řízeny měničem frekvence. U motorů je zapojen reverzní chod pro případný provoz v zimním období k odstraňování námrazy na chladicím systému (viz. obr. 22).

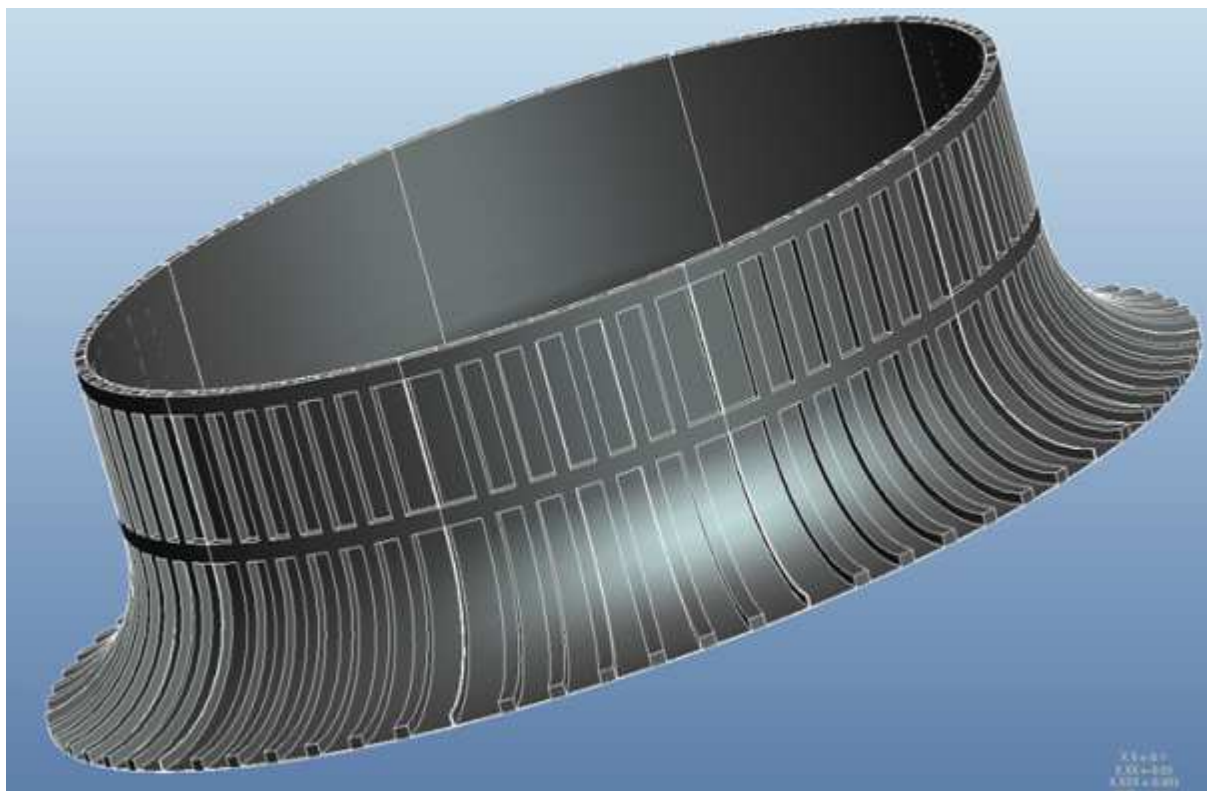


Obr. 22 Pomaloběžný motor o výkonu 75kW.

### 2.8.3 Difuzor

Na chladicí věž je instalován difuzor o průměru 6000 mm a výšce 2000 mm (viz. obr. 23). Ten je nezbytnou součástí chladicí věže, ale i axiálního ventilátoru, kterým se zmírňuje tlaková ztráta vznikající vysokou výstupní rychlostí vzduchu. Je vyroben z vrstveného laminovaného polyesteru a je dvouplášťového provedení. Vnitřní hladký povrch umožňuje rychlý odvod vzduchu. Vnější tvarovaný povrch zajišťuje vysokou pevnost a odolnost vůči klimatickým podmínkám a provozu chladicích věží.

Celý tvar difuzoru přispívá ke snížení hluku a vibrací nejen ventilátoru, ale i chladicí věže. Difuzor se skládá ze segmentů, jež jsou vzájemně spojeny nerezovými šrouby. Každý segment má ve spodní části náběh umožňující snadné navedení vzduchu k ventilátoru, na který navazuje válcová část, v níž rotuje ventilátor a rozšiřující se horní část ovlivňující celkovou tlakovou ztrátu vzduchu ventilátoru. Kotvení difuzoru k chladicí věži je provedeno rovněž pomocí šroubů.

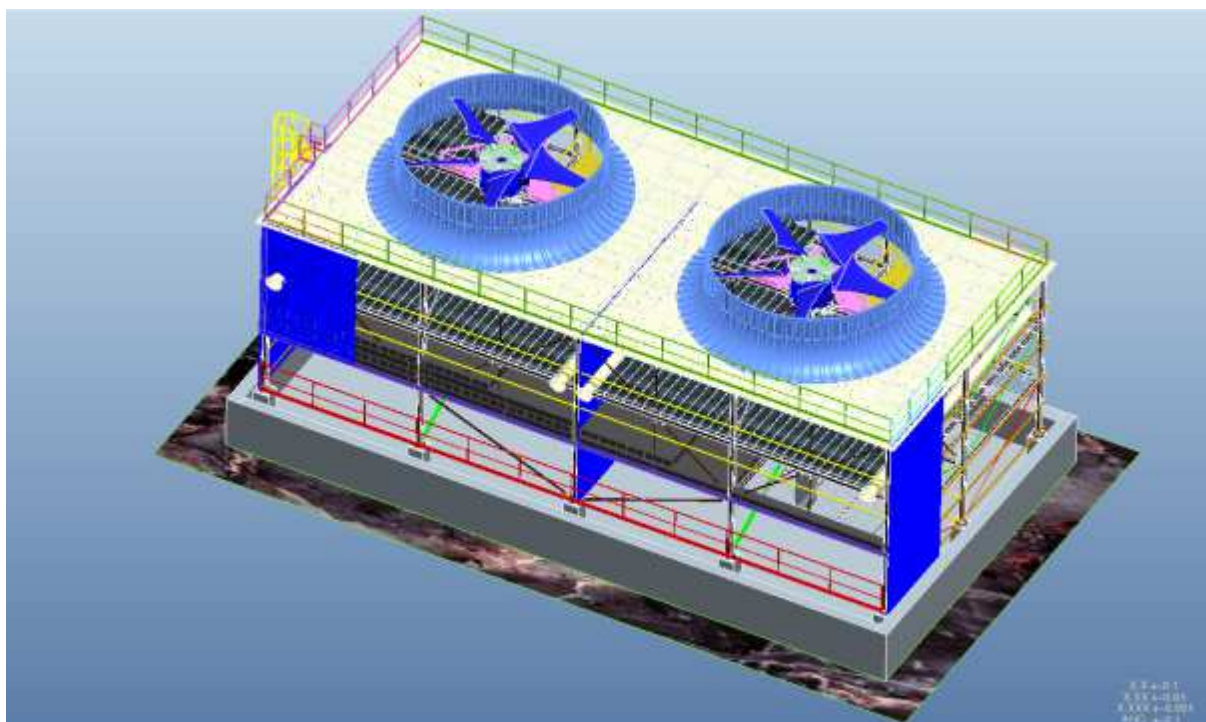


Obr. 23 Difuzor zmírňuje tlakovou ztrátu.

### 2.9 Model chladicí věže

Výsledný model chladicí věže je vytvořen sloučením jednotlivých komponent. Na pilíře bazénu je vložena ocelová konstrukce, do které je umístěna chladicí technologie a ventilátorová jednotka. Výsledný model chladicí věže je na obr. 24. Na základě výsledného modelu se zpracovává výkresová dokumentace jednotlivých komponent, které slouží pro výrobu a následnou montáž chladicí věže.





Obr. 24 Výsledný model chladicí věže CTF 100/II (Příloha 7).

## 2.10 Závěr ke specifikaci jednotlivých komponentů chladicí věže

Za pomoci softwaru ProEngineer/Creo jsou namodelovány jednotlivé komponenty chladicí věže. Dle zvolené chladicí věže je vyprojektován sběrný bazén. Ocelová konstrukce je zpracována dle statistického zatížení a předepsaných tvarových tyčí a profilů. Jednotlivé části a příklady profilů se stručným popisem udávají jednotlivé podkapitoly. Ocelová konstrukce je žárově zinkovaná.

Další komponenty se týkají obslužných, krycích a bezpečnostních prvků, jako jsou: lávky, pochozí plechy, opláštění, zábradlí a žebřík. Chladicí technologie popisuje vstup oteplené vody přes chladicí systém až do sběrného bazénu. Hlavní rozvod vody distribuuje oteplenou vodu do vedlejšího rozvodu, která je rozstříkována tryskami na chladicí výplň. Za pomoci ventilátorové jednotky je odváděno nízkopotenciální teplo vznikající ve výrobním procesu protiproudým průchodem vzduchu. Proudění vzduchu zajišťují axiální ventilátory řízené měničem frekvence.

Vložením jednotlivých podsestav modelu vzniká kompletní model chladicí věže CTF100/II dle požadavků zákazníka. Z kompletního modelu je zpracována výkresová dokumentace, která slouží pro výrobu a následnou montáž.

### 3 VYTIPOVÁNÍ SOUČÁSTI PRO TECHNOLOGIE NMO

Z technologie nekonvenční metody obrábění je vybrána metoda řezání plazmou a kyslíkem. Dříve než bude vytipována vhodná součást pro nekonvenční metody obrábění je nutné definovat jaké materiály jsou vhodné pro tyto metody.

#### 3.1 Řezání materiálu plazmou

Plazmové řezání je vhodné v závislosti na použitém typu plazmy pro řezání menších a středních tloušťek nelegovaných ocelí (max. do cca 50 mm tloušťky, zdroj 600 A,  $H_2O$ ), ale také vysokolegovaných ocelí (max. cca 100 mm, při 600 A, Ar/  $H_2$ ) a slitin hliníku (max. cca 120 mm, 600 A, Ar/  $H_2$ ). Ukázka řezání plazmou je znázorněna na obr. 25 [7].



Obr. 25 Řezání děr plazmou [8].

#### 3.2 Řezání materiálu kyslíkem

Kyslíkem lze efektivně řezat nelegované a v závislosti na chemickém složení také nízkolegované oceli. Výhodou je teoreticky neomezená tloušťka řezaného materiálu, i když většina běžně používaných zařízení je konstruována pro vysoce kvalitní řezy do tloušťky 300 mm. Na obr. 26 je ukázka řezání plechu kyslíkem [7].



Obr. 26 Řezání plechu kyslíkem [9].

### 3.3 Segmenty ocelové konstrukce

Z ocelové konstrukce se nekonvenční metody používají převážně pro výrobu spojovacích a kotevních desek. V této zakázce je využito více než 70 druhů desek různých rozměrů. Tloušťka jednotlivých desek je v rozsahu 2 – 25 mm. Celkový počet desek pálených pro ocelovou konstrukci je 2097 kusů. Počet desek vychází z modelu chladicí věže (viz. obr. 24). Segmenty ocelové konstrukce jsou řezány plazmou.

### 3.4 Segmenty obslužných konstrukcí

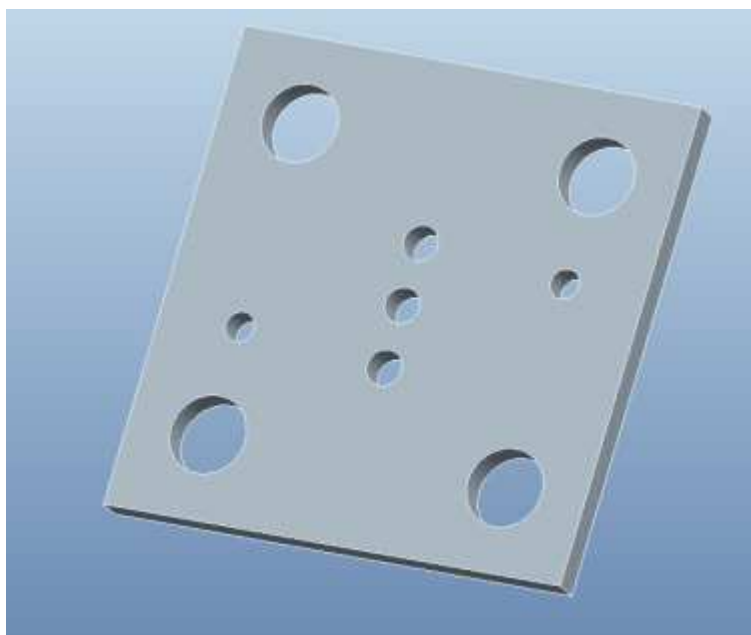
Jedná se především o desky obslužných konstrukcí jako jsou lávky a ventilátorová jednotka. Celkový počet desek je 73 kusů (viz. obr. 24). Desky jsou řezány plazmovým paprskem.

Kyslíkem jsou řezány díry v hlavním potrubí, které jsou určeny pro nátrubky vedlejších rozvodů vody.

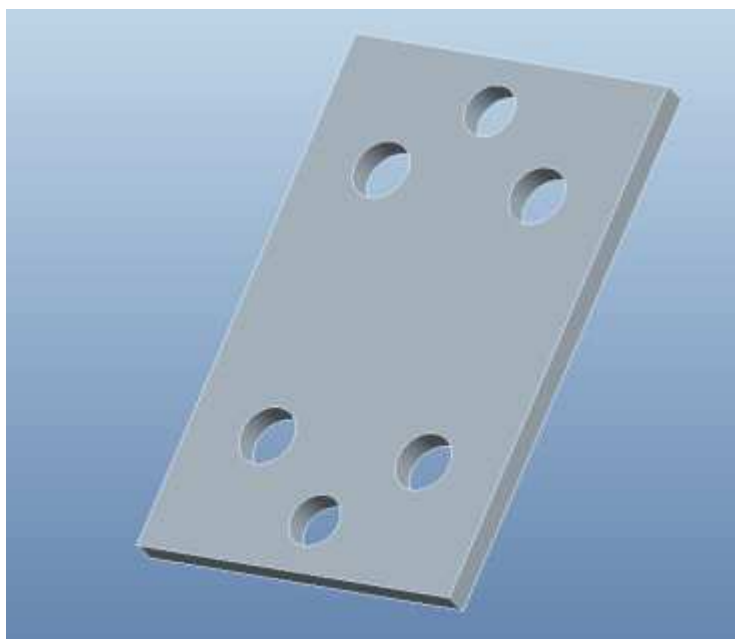
### 3.5 Výběr součástí pro technologii NMO

Pro technologii nekonvenční metody obrábění jsou vybrány dvě desky. Jedná se o kotevní desku (viz. obr. 27) a desku průvlaku (viz. obr. 28). Desky se liší svými rozměry a tloušťkou plechu. Obě vybrané desky jsou obráběny plazmovou technologií.





Obr. 27 Kotevní deska (Příloha 4).



Obr. 28 Deska průvlaku (Příloha 5).

### 3.6 Závěr k vytipované součásti NMO

Jsou definovány materiály, které lze použít k nekonvenčním metodám obrábění. Pro technologii nekonvenční metody obrábění jsou vybrány ze segmentů ocelové a obslužné konstrukce dvě desky různých rozměrů a tloušťek. Tyto desky budou řezány plazmovou technologií.

## 4 NÁVRH TECHNOLOGIE (STROJNÍ ZAŘÍZENÍ, POSTUP)

V této kapitole budou vytipované součásti (desky) obráběny nekonvenční metodou. Je vybrána metoda plazmového řezání. Tato technologie je vhodná pro ekonomické řezání plechů do tloušťky cca 25 mm, což je tloušťka která dostačuje pro výrobu komponent chladicí věže. V jednotlivých podkapitolách je specifikováno strojní zařízení, parametry řezání, výrobní postup a bezpečnost práce.

### 4.1 Volba nekonvenční metody obrábění

Veškerý hutní materiál jako jsou plechy, široká a pásová ocel do tloušťky 25 mm jsou řezány plazmou. Taktéž různé drážky a tvarové díry do průřezových tyčí, trubek či jäcklů je možno řezat plazmou. Na obr. 29 je vyobrazena drážka řezaná plazmou ve čtvercovém uzavřeném ocelovém profilu.



Obr. 29 Drážka řezaná plazmou ve čtvercovém uzavřeném ocelovém profilu.

#### 4.1.1 Fyzikální princip plazmy

Plazma lze definovat jako směs volných elektronů, neutrálních atomů a pozitivně nabitých iontů, pro nichž je zásadní její vysoká teplota ( $10^4 + 33 \cdot 10^4 \text{ °C}$ ) a přítomnost volných nosičů náboje. Plazma vzniká ionizací plynu při vysoké teplotě či při elektrickém výboji mezi anodou a katodou. Přítomnost volných nosičů náboje odlišuje plazma od plynů, neboť díky tomu je plazma vodivé a podléhá působnosti elektrických či magnetických polí. Plazma je schopno jako celek vytvářet globální elektrická a magnetická pole a na tato pole dále reagovat [10].

#### 4.1.2 Řezání plazmatem

Metoda je založena na využití teplotních a dynamických účinků plazmatu. Mezi elektrodou a řezaným materiálem hoří při současném dodávání plazmového plynu elektrický oblouk koncentrovaný pomocí chlazené trysky a fokusačního (ochranného) plynu, případně vody. Zkoncentrováním elektrického oblouku se výrazně zvýší hustota výkonu. Fokusační (ochranný)

plyn zároveň obklopuje plazmový elektrický oblouk a chrání vytvářené řezné hrany před vlivy okolní atmosféry. Řezaný materiál je taven a tavenina a oxidy jsou vyfukovány z místa řezu plazmovým plynem. V případě použití kyslíku jako plazmového plynu je materiál rovněž spalován a reakce mezi materiálem a kyslíkem přispívá k vytváření řezné spáry [11].

Díky vysoké hustotě výkonu plazmatu a vysoké dosahované teplotě lze plazmatem řezat takřka všechny kovové materiály. Omezením je tloušťka materiálu, což je způsobeno poklesem tlaku plazmového plynu se vzrůstající tloušťkou materiálu.

Výhody řezání plazmatem:

- možnost provozu jednoho nebo více hořáků podle velikosti výrobní dávky,
- vhodnost zejména pro řezání slabých a středních tlouštěk konstrukční oceli (do 30mm),
- možnost řezání vysoce pevné konstrukční oceli s menším tepelným příkonem,
- vysoká řezná rychlost (až 10x vyšší než při řezání plamenem),
- proces lze plně automatizovat,
- řezání plazmou pod vodou pro velmi malé tepelné ovlivnění řezaného materiálu a malou hladinu hluku v okolí pracoviště.

Nevýhody řezání plazmatem:

- omezení použití do 160 mm (180 mm) u suchého řezání a 120 mm u řezání pod vodou,
- poněkud širší řezná spára oproti řezání laserem,
- vysoká hladina hluku od 80 do 100 dB,
- intenzivní UV záření,
- vysoké pořizovací náklady.

## 4.2 Strojní zařízení

Používané strojní zařízení pro plazmové řezání je od předních Česko-slovenských výrobců. Hlavní strojní části plazmového řezání jsou:

- plazmový zdroj,
- kompresor,
- CNC pálicí stroj,
- filtrační a odsávací zařízení,
- strojní hořák.

### 4.2.1 Plazmový zdroj

Je používán plazmový zdroj od slovenského výrobce Formica, konkrétně model ForCUT 163WDM (viz. obr. 30). Plazmový řezací stroj ForCUT 163 WDM je výkonný, moderně konstruovaný stroj určený především pro strojní řezání všech elektricky vodivých materiálů (ocel, nerez, hliník, měď, mosaz apod.). Stroj splňuje požadavky normy pro svařovací a plazmové řezací stroje EN 60974-1. Je vybaven rozhraním pro spolupráci s CNC řídicími systémy pálicích stolů různých výrobců. Použitá tranzistorová spínací jednotka umožnila zvýšit kvalitu

řezu, snížit rychlost opotřebení spotřebních dílů a zároveň podstatně snížit napájecí proud z rozvodné sítě. Technické parametry zdroje jsou uvedeny v Tab. 4.1 [12].



Obr. 30 Plazmový zdroj Formica ForCUT 163WDM [12].

Tab. 4.1 Technické parametry zdroje Formica ForCUT 163WDM [12].

Technické parametry plazmového zdroje Formica	
Typ	ForCUT 163 WDM
Hlavní přívod [V, Hz]	3x400V, 50Hz
Příkon [kVA]	30
Napětí na prázdko [V]	310
Rozsah řezacího proudu [A]	20 - 160
Plazmový plyn - technický	Air, $N_2$ , Ar 65%, $H_2$ 35%, $O_2$
Sekundární plyn – technické plyny	Air, $N_2$ , $CO_2$ ,
Vstupní tlak plynu [MPa]	0,8
Spotřeba plazmového plynu [ $l \cdot min^{-1}$ ]	40 - 50
Řezaná tloušťka, kvalitní řez / max. tloušťka [mm]	40/45
Hlučnost [dB]	105
Hmotnost [kg]	274
Rozměry [mm]	940 x 500 x 1290

#### 4.2.2 Kompresor

Nedílnou součástí plazmového zdroje pro tlakový rozvod stlačeného plynu je kompresor. Konkrétně se jedná o šroubový kompresor typ ORL 5,5 BX českého výrobce ORLIK z České Třebové. Šroubové kompresory typové řady ORL jsou určeny pro trvalý provoz s plně automatizovaným řízením chodu kompresoru v závislosti na odběru stlačeného vzduchu. Jedná se o kompresory s jednostupňovou šroubovou jednotkou, mazanou olejem. Zásobník oleje je přímo integrován přímo do bloku kompresoru [13]. Blok zabezpečuje další funkce:

- hrubé odlučování oleje ve skříní,
- jemnou separaci,
- filtraci oleje,
- udržování min. tlaku včetně filtrace,
- regulace nasátého vzduchu.

Blok kompresoru a elektromotor jsou kotveny na rámu, který je pružně uložen v karoserii kompresoru pomocí pryžových pružin. Karoserie je tvořena rámem, který uzavírají odnímatelné zvukoizolační panely. Technické parametry kompresoru jsou uvedeny v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Základní parametry kompresoru firmy ORLIK [13].

Typ	Max přetlak [kW]	Výkonnost [m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]	Výkonnost [l · min <sup>-1</sup> ]	Výkon motoru [kW]	Hladina hluku [dB]	Olejová náplň [l]	Hmotnost [kg]
<b>ORL 5,5 BX</b>	10	42,5	708	5,5	58	4	207

Tento model je vybaven mikroprocesorovou řídicí jednotkou ORLIK 900, která umožňuje kontroly provozních cyklů, teploty oleje, provozního tlaku, provozních hodin. Samozřejmostí jsou bezpečnostní prvky jako pojistný ventil, nadproudové tepelné jistící relé a tepelná ochrana vinutí elektromotoru. Na obr. 31 je znázorněn šroubový kompresor ORL 5,5BX.



Obr. 31 Šroubový kompresor ORLIK 5,5 [13].

### 4.2.3 CNC pálicí stroj

CNC pálicí stroj VANAD PROXIMA je hlavní stroj pro termické dělení materiálu plazmového řezání. Stroj je určen pro technologii kyslíkového a plazmového řezání. Při obojím vyniká svou vysokou dynamikou. To vše pro maximální přesnost a vysokou účinnost (viz. obr. 32). Základní technická data jsou uvedena v Tab. 4.3. Na obr. 33 je znázorněn panel s přehlednými informacemi při řezacím procesu [14].



Obr. 32 VANAD PROXIMA – CNC pálicí plazmový stroj [14].

Tab. 4.3 Základní technická data pálicího stroje VANAD Proxima [14].

Pálicí stroj VANAD Proxima	
Rozměry pracovního stolu [mm]	1600 x 3000
Max. tloušťka materiálu [mm]	25
Max. počet vozíků s hořáky [ks]	4
Max. přesuvná rychlost [ $m \cdot min^{-1}$ ]	30
Typ vedení v ose X [-]	lineární
Typ vedení v ose Y [-]	lineární

Přednosti technického řešení VANAD Proxima je:

- ucelená řada velikostí strojů pro pracovní šířku do 6000 mm,
- neomezená pracovní délka,
- oboustranný pohon podélného pojezdu,
- lineární ložiskové vedení na všech pojezdových osách,
- precizní řízení zapalovací a pracovní výšky hořáku,
- vysoká přesnost polohování i po dlouhodobém provozu,
- minimalizace neproduktivních časů při provozu.



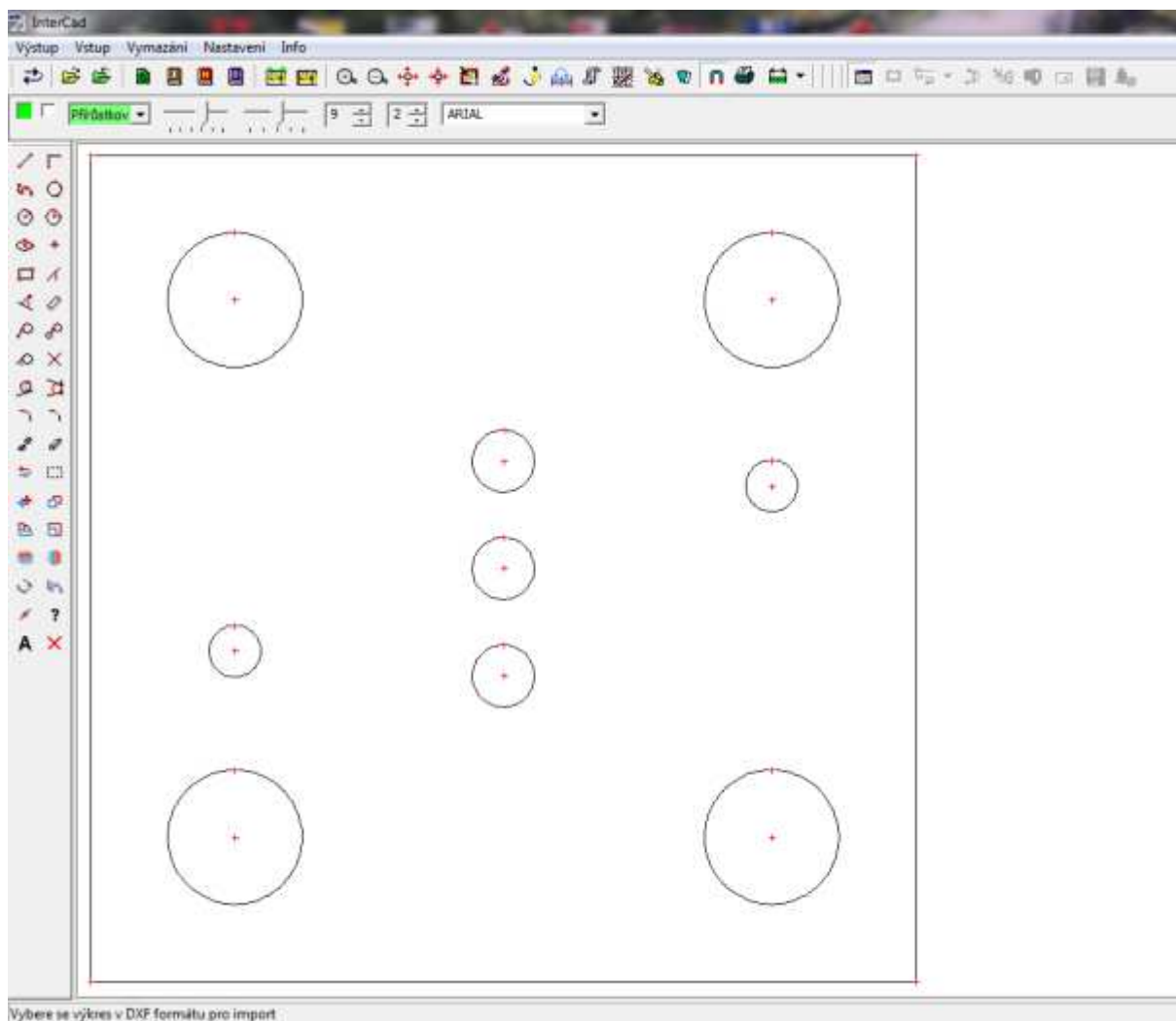


Obr. 33 Informační panel s nastavenými řeznými podmínkami .

### Standardní vybavení pálcího stroje VANAD Proxima:

- oboustranný pohon portálu,
- podélné vyztužené nosníky IPE,
- ohebné energetické řetězy,
- elektronická regulace výšky hořáků,
- přenos pálicích dat pomocí LAN sítě,
- precizní řízení výšky plazmového hořáku,
- pneumatické-elektrické nastavení zapalovací výšky plazmového hořáku,
- servořízení propalu.

Pro vytváření pálicích plánů je používán technologický program WRYKRYs [15]. Program WRYKRYs je schopen řešit všechny běžné případy ze strojírenské praxe a je vytvořen tak, aby se snadno ovládal, výrazně urychlil přípravu pálicích plánů a komunikaci s pálicími stroji. Uživatelské prostředí programu je znázorněno na obr. 33.



Obr. 34 Uživatelské rozhraní technologického rozhraní WRYKRYYS [15].

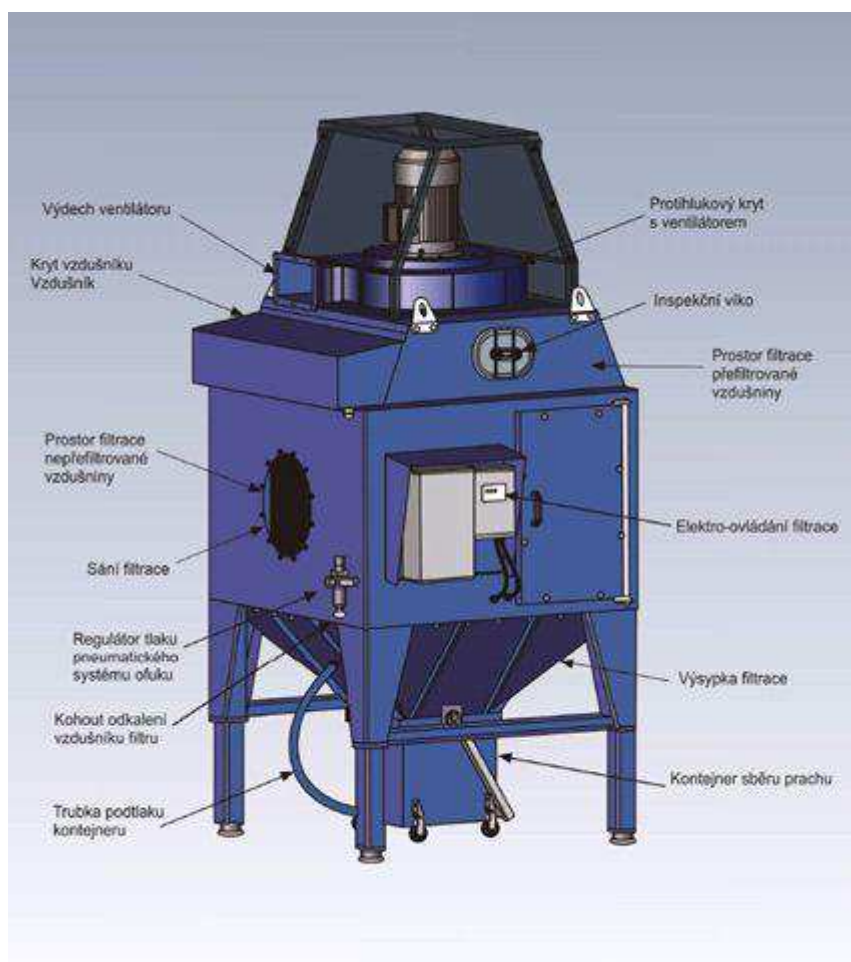
#### 4.2.3 Filtrační a odsávací zařízení

Při termickém dělení kovů řezáním vzniká velké množství nejjemnějších prachových částí, které jsou pro obsluhu, jeho prostředí a stroje velmi škodlivé. Proto je nezbytně nutné zajistit při všech procesech řezání optimální odsávání a tím čistější vzduch na pracovišti [16].

Množství vznikajícího prachu závisí na příslušném technologickém postupu a na řezaném materiálu. Nebezpečí ohrožení zdraví při řezání kyslíkem, plazmou a laserem je obzvláště vysoké. Zvláště při těchto technologických postupech totiž vznikají extrémně jemné a škodlivé částice, které vyžadují spolehlivé filtrace. Plazmové pálicí centrum je napojeno na filtrační zařízení TIGEMMA. Toto zařízení slouží k odloučení tuhých emisí od pálicího stolu.

Prachem nasycená vzdušina je přivedena do předodlučovací sekce, kde vlivem gravitační předfiltrace dochází k odloučení hrubých nečistot. Dále správným usměrněním a zpomalením rychlosti proudu prochází znečištěné médium skrz filtrace, kde metodou povrchové filtrace dochází k odloučení zbytkových nečistot. Následně proudí přefiltrovaný vzduch přes integrovaný ventilátor a tlumič hluku na výstup filtru. Filtrace pracuje nepřetržitě, a proto jsou filtrační patrony efektivně regenerovány protiproudem tlakového vzduchu. Schéma filtračního zařízení je znázorněno na obr. 34.





Obr. 35 Filtrační a odsávací zařízení TIGEMMA [16].

Tento nepřetržitý proces regenerace inteligentně vyhodnocuje a na základě difference podtlaku před a za filtrem ovládá řídicí jednotka filtrace. Ta vždy jen u části filtračních patron zajistí regeneraci a umožňuje, aby ostatní filtry plnily svoji funkci. Vysoká míra filtrace umožňuje rekuperaci tepla vypouštěním přefiltrovaného vzduchu zpět na pracoviště. Konstrukce hlavní sběrné nádoby zajišťuje snadný odvoz, výměnu a uskladnění odfiltrovaného materiálu v přímo začleněných pevných pytlích.

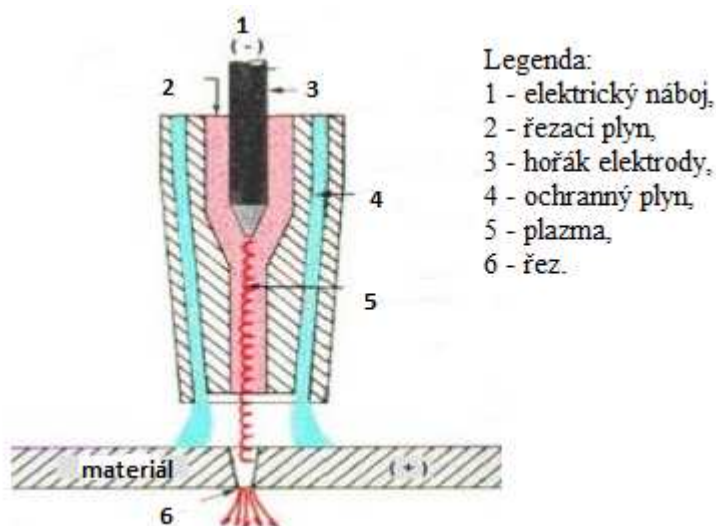
#### 4.2.4 Typ strojního hořáku

K přeměně elektrické energie na tepelnou energii usměrněného proudu plazmatu dochází v plazmovém hořáku. Při zahájení procesu řezání dochází v plazmovém hořáku k vytvoření elektrického oblouku, který stabilně po celou dobu procesu ionizuje procházející plyn.

Elektrickým obloukem se rozumí elektrický výboj v plynu schopný samostatné existence. Oblouk se skládá ze 3 základních částí: katodová oblast, anodová oblast a pozitivní sloupec oblouku tvořený plazmatem s dobrou elektrickou vodivostí. Průchod proudu obloukem je zprostředkován především elektrony uvolněnými termickou emisí z povrchu zahřáté katody, které jsou urychlovány směrem k anodě. Gradient intenzity el. pole je ve sloupci oblouku relativně nízký a na jeho tlak, materiál elektrod, chlazení oblouku, vnější magnetické síly. Druh plynu, ve kterém oblouk hoří, má vliv na napětí v oblouku. Při řezání je využíváno oblouku stabilizovaného vzduchem, který je napájen stejnosměrným napětím [10,17].

Stabilizace stlačeným vzduchem je v současnosti nejčastěji používaná při plazmovém řezání. Tato stabilizace se používá téměř pro všechny materiály, nejvíce však pro konstrukční ocel do 40 mm. Ke stabilizaci se používá stlačený vzduch o tlaku 0,4 – 0,8 MPa o vysokém průtokovém množství až  $130 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Toto řešení zlevnilo provoz řezání konstrukčních ocelí. Část kyslíku obsaženém ve vzduchu se účastní exotermické reakce se železem a tím zvyšuje rychlost řezání. Zvýšený průtok stabilizačního plynu způsobuje intenzivnější zúžení sloupce oblouku, a tím snižuje teplotu povrchové vrstvy sloupce plazmatu. Výsledkem je větší rychlost řezání, užší řezná spára a lepší kvalita řezné plochy. Díky kyslíkové oxidaci na chladnější spodní hraně řezu se netvoří pevně lpící krápníky z nataveného kovu. Hlavní úskalí vzduchové plazmy je rychlé opotřebení dílů vystavených oxidaci, především elektrody.

Hořáky s transferovým obloukem se vyznačují tím, že elektrický oblouk hoří mezi vnitřní elektrodou umístěnou v hořáku a obráběným materiálem (viz. obr. 36).



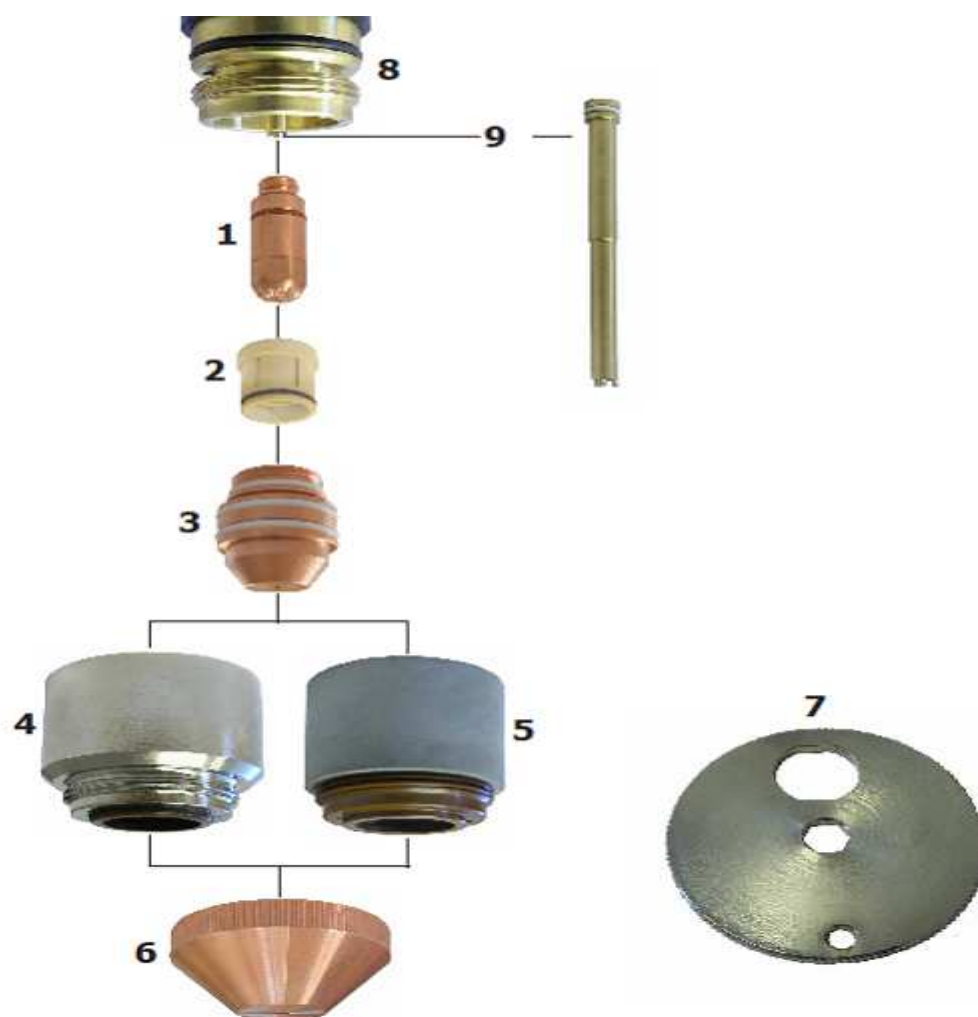
Obr. 36 Hořák s transferovým obloukem [18].

Tělo hořáku se skládá ze tří hlavních částí: elektrody, trysky a ochranné části [19].

Elektroda je z mědi, s povrchovou vrstvou niklu s přídavným hafniem. Hafnium v oxidační atmosféře vzduchu oxiduje mnohem pomaleji než wolfram. Oxidy a nitridy těchto materiálů mají vysoké teploty tavení (2500 – 3300 °C), což vede k ochraně elektrody v procesu řezání.

Plazmová řezací tryska je používána ke zúžení elektricky ionizovaného plynu do úzkého svazku vysoce koncentrovaného plazmového oblouku. Plazmová tryska je konstruována z mědi s povrchem plátovaným niklem pro zvýšení životnosti. Při malých řezacích proudech (pod 30A) se tryska může dotýkat řezaného materiálu, čímž výsledně vzniká úzký řez, vyšší kvalita řezu apod. Při vyšších proudech (nad 30A) musí být tryska v určité vzdálenosti od materiálu, čímž se zabrání jejímu poškození v důsledku tepelného záření či kaskádového oblouku.

Ochranná část (kroužek) je konstruován k přímému chlazení plynu v blízkosti trysky. Přispívá také k fokusaci oblouku. Je vyroben z odolného materiálu, který zabraňuje při normálních podmínkách poškození. Pro řezání proudem nad 30A může pomoci operátorovi v nastavení bezpečné vzdálenosti trysky od řezaného materiálu. Těleso plazmového hořáku je na obr. 36.



Obr. 37 Tělo plazmového hořáku [20].

Legenda k obr. 37:

- 1 – elektroda,
- 2 – vířivý kroužek,
- 3 – tryska,
- 4 – standardní krytka
- 5 – krytka s delší životností
- 6 – čelní krytka,
- 8 – tělo hořáku,
- 9 – chladicí trubička,
- 7 – klíč na vytahování elektrod a trysek.

Pozn. Pozice 7 je chápána jako příslušenství hořáku, proto je tato pozice uvedena až na konec legendy.

### 4.3 Jednotlivé fáze řezání plazmou

Jednotlivé fáze řezání lze rozdělit do 5 hlavních. Jsou to:

- předfuk,
- pilotní oblouk,
- startování,
- řezací oblouk,
- dofuk.

#### 4.3.1 Předfuk

Před zapálením vlastního plazmového oblouku se spouští předfuk plazmového plynu. Plazmový plyn je směřován do dvou různých oblastí. V prvním případě je veden vnitřní tryskou a kolem elektrody ven z hořáku. Toto vzduchové proudění tvoří vysoce objemový cirkulující oblak, který je ionizován elektrickým proudem a tvoří plazmový svazek. Druhá oblast, kam je plazmový plyn směřován, je vnější chladicí oblast plazmového hořáku. V tomto případě plazmový plyn působí jako chladicí médium. Odvádí teplo vznikající v plazmovém hořáku, přispívá ke zvýšení životnosti součásti a může působit i na fokusaci plazmového oblouku.

#### 4.3.2 Pilotní oblouk

Předfuk plynu trvá asi 2 sekundy. Po uplynutí této doby je zapálen tzv. pilotní oblouk (Pilot Arc) mezi tryskou a elektrodou vysokým napětím s vysokou frekvencí. Pilotní oblouk usnadňuje zapálení vlastního řezacího oblouku a obvykle trvá, podle konstrukce stroje, 2 až 3 sekundy. Namáhá tepelně trysku, a proto její životnost je dána kromě jiného i počtem startů a délkou hoření pilotního oblouku.

#### 4.3.3 Startování

K nastavení plazmového oblouku je nutné, aby se pilotní oblouk spojil s elektricky uzemněným řezaným materiálem. Při přiblížení hořáku k materiálu se oblouk automaticky přenese na řezaný kus a je iniciován řezací oblouk o vysokém proudu a relativně nízkém napětí. Startování je třeba dělat ve správné poloze. Při velkém přiblížení může roztavený kov poškodit trysku hořáku. Při příliš velké vzdálenosti od materiálu může vzniknout kaskádový oblouk.

#### 4.3.4 Řezací oblouk

Při hoření řezacího oblouku je velmi důležitá pro dosažení kvalitního řezu řezací rychlost. Toto má také zásadní vliv na životnost součástek hořáku. Na základě praktických zkušeností lze konstatovat, že vhodná řezací rychlost je taková, kdy plazmový oblouk je odkloněn dozadu za pohybující se hořák o 5° až 10°. Při této rychlosti se kov nejen taví, ale i odstraňuje z místa řezu. Pokud je potřeba startovat uprostřed plechu, je vhodné hořák mít nastaven pod úhlem 45° k preventivní ochraně trysky před odletujícími kapkami roztaveného kovu.

#### 4.3.5 Dofuk

Po skončení řezání probíhá tzv. dofuk plynu. Dochází k chladnutí hořáku, elektrody, trysky a prodlužuje se jejich životnost. Nejčastější dofuk trvá cca 20 sekund [17].

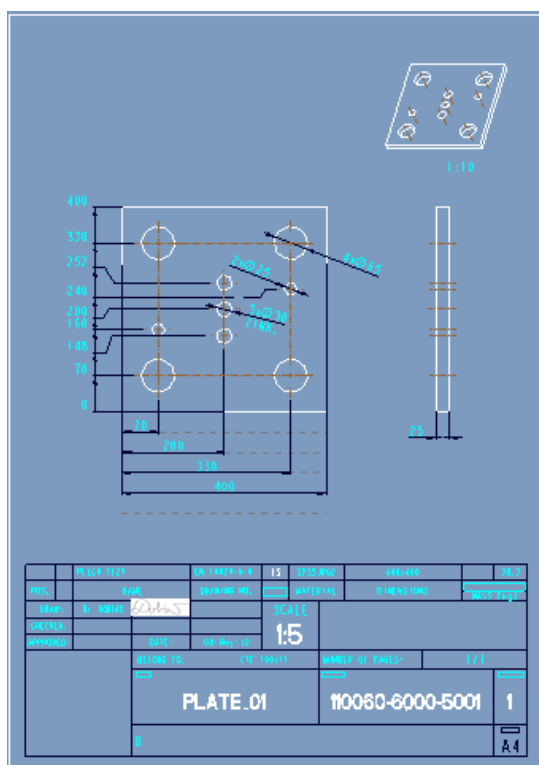
#### 4.4 Výrobní postup

Výrobní postup je sestaven pro výrobu kotevní desky a desky průvlaku. Desky jsou vyrobeny z tabule plechu o různé tloušťce. Tabule plechu jsou z nelegované konstrukční oceli z materiálu S235JR (dřívější označení S235JRG2, 11375) viz Příloha 1. Postup výroby desek je následující:

- ze 3D modelu součásti je vytvořen v programu ProEngineer výrobní výkres,
- výrobní výkres desky ve formátu DWG je převeden na formát výkresu DXF,
- v programu WRYKRYYS je vytvořen ISO kód pro CNC pálicí stroj VANAD Proxima,
- data ISO kódu jsou přenesena z PC na paměťový disk stroje,
- ustavení tabule plechu na pracovní stůl pálicího stroje,
- nastavení nulových bodů polotovaru,
- simulace (laserový světelný paprsek),
- spuštění programu (stroj začne řezat dle programu v ISO kódu),
- ukončení procesu řezání,
- zchlazení výpalků,
- odebrání výpalků.

##### 4.4.1 Kotevní deska

Výpalky kotevní desky jsou vyrobeny z plechu válcovaného za tepla dle EN 10029-A-N o rozměrech 25 x 1000 x 2000 mm. Výrobní výkres kotevní desky je na obr. 38.



Obr. 38 Výrobní výkres kotevní desky viz. Příloha 4.

ISO kód kotevní desky vytvořený programem WRYKRYŠ:

%1

"NOTEPAD.TMP"

N1 G90 G23 F500 M50

N2 G00 X352.496 Y487.490 G41 D02

N3 G91

" JM= PLATE\_01 "

" Poradi v sestave= 1 "

N40 G01 X19.988 Y0.693 M07

N45 G03 X-64.961 Y-2.252 I-32.48 J-1.126

N50 G03 X64.961 Y2.252 I32.48 J1.126

N55 G01 X-0.014 Y0.35 M09

N60 G00 X-15.984 Y-45.75 G40

N65 G00 X-15.983 Y-45.749 G41 D02

N70 G01 X11.987 Y-0.551 M07

N75 G03 X-24.974 Y1.149 I-12.487 J0.574

N80 G03 X24.974 Y-1.149 I12.487 J-0.574

N85 G01 X0.011 Y0.35 M09

N90 G00 X0.001 Y-84.944 G40

N95 G00 X0.001 Y-84.943 G41 D02

N100 G01 X19.999 Y-0.178 M07

N105 G03 X-64.997 Y0.577 I-32.499 J0.289

N110 G03 X64.997 Y-0.577 I32.499 J-0.289

N115 G01 X0.001 Y0.35 M09

N120 G00 X-280.022 Y0.693

N125 G01 X19.963 Y1.208 M07

N130 G03 X-64.881 Y-3.923 I-32.441 J-1.962

N135 G03 X64.881 Y3.923 I32.441 J1.962

N140 G01 X-0.023 Y0.349 M09

N145 G00 X-15.959 Y43.838 G40

N150 G00 X-15.959 Y43.839 G41 D02

N155 G01 X11.997 Y-0.283 M07

N160 G03 X-24.993 Y0.59 I-12.497 J0.295

N165 G03 X24.993 Y-0.59 I12.497 J-0.295

N170 G01 X0.003 Y0.35 M09

N175 G00 X120.491 Y-11.818

N180 G01 X11.963 Y0.946 M07

N185 G03 X-29.907 Y-2.366 I-14.953 J-1.183

N190 G03 X29.907 Y2.366 I14.953 J1.183

N195 G01 X-0.032 Y0.349 M09

N200 G00 X-11.928 Y50.671

N205 G01 X11.972 Y0.813 M07

N210 G03 X-29.931 Y-2.032 I-14.966 J-1.016

N215 G03 X29.931 Y2.032 I14.966 J1.016

N220 G01 X-0.028 Y0.349 M09

N225 G00 X-5.969 Y25.354 G40

N230 G00 X-5.969 Y25.353 G41 D02

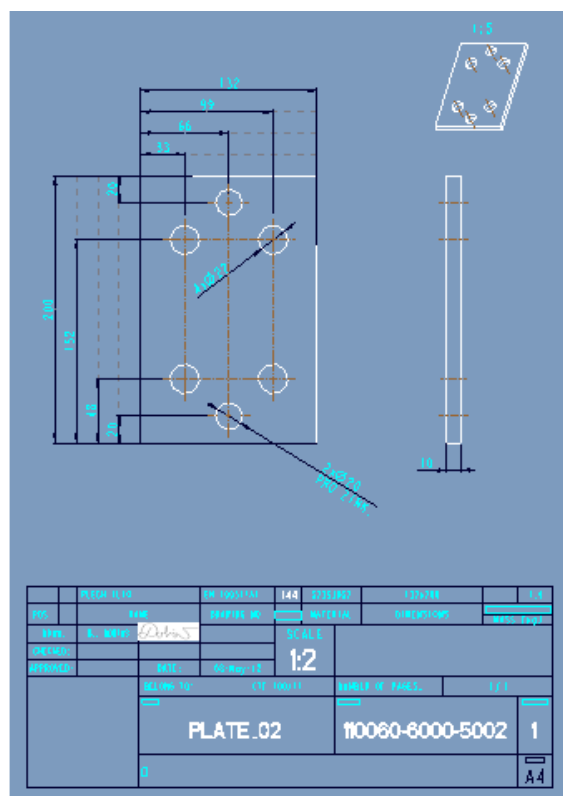
N235 G01 X11.996 Y0.29 M07

N240 G03 X-29.991 Y-0.724 I-14.996 J-0.362  
N245 G03 X29.991 Y0.724 I14.996 J0.362  
N250 G01 X-0.012 Y0.35 M09  
N255 G00 X-132.501 Y76.629  
N260 G01 X19.972 Y-1.054 M07  
N265 G03 X-64.91 Y3.427 I-32.455 J1.713  
N270 G03 X64.91 Y-3.427 I32.455 J-1.713  
N275 G01 X0.017 Y0.349 M09  
N280 G00 X148.764 Y45.682 G40  
N285 G00 X148.765 Y45.682 G41 D01  
N290 G01 X0 Y-567.055 M07  
N295 G01 X-3.5 Y0.18  
N300 G01 X-393 Y0  
N305 G01 X-3.5 Y-0.18  
N310 G01 X0 Y547.055  
N315 G01 X410.35 Y0 M09  
N320 G00 X5 Y5  
N325 G00 X-5 Y-5 G40  
N330 M30

\*

#### 4.4.2 Deska průvlaku

Výpalky desky průvluaku jsou vyrobeny z plechu válcovaného za tepla dle EN 10051 + A1 o rozměrech 10 x 1500 x 3000 mm. Výrobní výkres desky průvluaku je na obr. 39.



Obr. 39 Výrobní výkres desky průvlaku viz. Příloha 5.



ISO kód desky průvlaku vytvořený programem WRYKRYŠ:

%1

"NOTEPAD.TMP"

N1 G90 G23 F500 M50

N2 G00 X44.004 Y57.974 G41 D02

N3 G91

" JM= PLATE\_02 "

" Poradi v sestave= 1 "

N40 G01 X9.996 Y-0.29 M07

N45 G03 X-21.991 Y0.638 I-10.995 J0.319

N50 G03 X21.991 Y-0.638 I10.995 J-0.319

N55 G01 X0.004 Y0.35 M09

N60 G00 X22 Y-28.031

N65 G01 X10 Y0.133 M07

N70 G03 X-19.998 Y-0.266 I-9.999 J-0.133

N75 G03 X19.998 Y0.266 I9.999 J0.133

N80 G01 X-0.011 Y0.35 M09

N85 G00 X24.011 Y27.524

N90 G01 X10 Y0.067 M07

N95 G03 X-22 Y-0.147 I-11 J-0.074

N100 G03 X22 Y0.147 I11 J0.074

N105 G01 X-0.008 Y0.35 M09

N110 G00 X-9.992 Y103.57

N115 G01 X10 Y-0.061 M07

N120 G03 X-22 Y0.133 I-11 J0.067

N125 G03 X22 Y-0.133 I11 J-0.067

N130 G01 X-0.003 Y0.35 M09

N135 G00 X-43.997 Y27.717

N140 G01 X10 Y-0.106 M07

N145 G03 X-19.999 Y0.212 I-9.999 J0.106

N150 G03 X19.999 Y-0.212 I9.999 J-0.106

N155 G01 X-0.003 Y0.35 M09

N160 G00 X-41.997 Y-28.228

N165 G01 X9.999 Y0.156 M07

N170 G03 X-21.997 Y-0.345 I-10.999 J-0.172

N175 G03 X21.997 Y0.345 I10.999 J0.172

N180 G01 X-0.011 Y0.35 M09

N185 G00 X44.006 Y28.739 G40

N190 G00 X44.006 Y28.739 G41 D01

N195 G01 X0 Y-210 M07

N200 G01 X-132 Y0

N205 G01 X0 Y199.745

N210 G01 X18.004 Y0.255

N215 G01 X123.346 Y0 M09

N220 G00 X5 Y5

N225 G00 X-5 Y-5 G40

N230 M30

\*

#### 4.5 Základní parametry řezání

Správná volba základních neboli technologických parametrů výrazně ovlivňuje nejen kvalitu řezných ploch, ale i ekonomickou stránku řezání plazmou. Technologické parametry jsou závislé na tloušťce materiálu. Nejdůležitější základní parametry jsou:

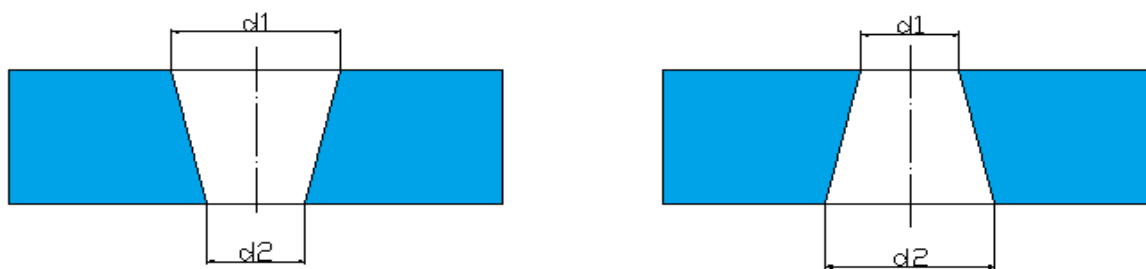
- vstupní proud plazmového zdroje,
- rychlost řezání,
- vzdálenost řezací hubice od povrchu řezaného materiálu,
- tlak plazmového plynu,
- šířka řezné spáry.

##### 4.5.1 Vstupní proud plazmového zdroje

Rozsah řezacího proudu je závislý na technických parametrech plazmového zdroje. Používaný zdroj Formica ForCUT 163 WDM disponuje rozsahem řezacího proudu od 20 – 160 A. Volba nastavení proudu je závislá na tloušťce řezaného materiálu. Maximální proud zdroje, tj. 160 A odpovídá přibližné tloušťce 25 mm řezaného materiálu.

##### 4.5.2 Rychlost řezání

Je závislá na děleném materiálu, jeho tloušťce, požadované kvalitě řezu. Hodnota rychlosti řezání je větší než u tvarových řezů. Rychlost řezání má vliv na správném rozložení tepla. Optimální rychlost je obvykle určována experimentálně. Je-li posuv příliš rychlý, oblouk se nestíhá natáhnout až ke spodní hraně a horní části řezu je odevzdáno více tepla. To způsobuje širokou spáru na horním okraji a zkosení řezné spáry do tvaru V (obr. 40a). Naopak při příliš nízké rychlosti dochází k přebytku vneseného tepla do materiálu, zejména u spodní hrany. Výsledkem je příliš široká spára, ještě rozšířená v dolní části a široká tepelně ovlivněná oblast (obr. 40b) [19]. Tvary řezné spáry jsou na obr. 40.



Obr. 40 Tvar řezné spáry: a)  $v_r > v_{opt}$  b)  $v_r < v_{opt}$  [19].

Legenda k obr. 40:

$v_r$  – rychlost řezání,

$v_{opt}$  – optimální rychlost řezání,

$d_1, d_2$  – šířka spáry.

Obecně lze použít k určení optimálních parametrů řezání energetickou bilanci řezání. Teplo potřebné k odtavení a částečnému odpaření kovu z řezné spáry za sekundu ( podle vztahu 1) [21]:

$$\eta \cdot I_{EO} \cdot U = \rho \cdot Q \cdot s_1 \cdot v_r \cdot b \quad (1)$$

kde:  $\eta$  - účinnost přeměny energie [%],

$\rho$  - hustota řezaného materiálu [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ],

$s_1$  - tloušťka materiálu [ $\text{cm}$ ],

$v_r$  - max. řezná rychlost [ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$Q$  - množství tepla potřebného k odtavení jednotkového objemu material z místa řezu [ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ ],

$b$  - střední šíře spáry  $b = (b_1 + b_2) / 2$  [ $\text{cm}$ ],

$I_{EO}$  - proud na oblouku [ $\text{A}$ ],

$U$  - napětí na oblouku [ $\text{V}$ ].

Určení  $\eta$  a  $Q$  je velmi obtížné. Při výpočtech se uvažuje  $\eta \cong 0,4$  (dle vztahu 2).

$$Q = c_1 \cdot (T_1 - T_0) + q_1 + k \cdot c_2 \cdot (T_2 + T_1) + k \cdot q_2 \quad (2)$$

kde:  $c_1, c_2$  - měrné teplo mat. v rozmezí  $(T_0 - T_1), (T_1 - T_2)$  [ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ],

$T_0$  - teplota materiálu na začátku řezání [ $\text{K}$ ],

$T_1$  - teplota tavení [ $\text{K}$ ],

$T_2$  - teplota varu [ $\text{K}$ ],

$q_1, q_2$  - tep. energie kovu při teplotě tavení, resp. varu [ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ ],

$k$  - součinitel vyjadřující podíl vypařeného kovu (0,05 až 0,1),

$q_2$  -  $88 \cdot T_2 / m_a$ ,

$m_a$  - atomová hmotnost.

Z rovnice (2) vyplývá maximální rychlost řezání:

$$v_r = \frac{\eta}{\rho \cdot Q} \cdot \frac{E_{EO} \cdot U}{b \cdot s_1} = k_1 \cdot \frac{I_{EO} \cdot U}{b \cdot s_1} \quad (3)$$

Tab. 4.4 Hodnoty konstant pro výpočet vztahu (3) [21].

Materiál	$m_a$	$\rho$ [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]	$T_1$ [K]	$T_2$ [K]	$c_2$ [ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	$q_1$ [ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ ]	$k_1$ [ $\text{cm}^{-3} \cdot \text{J}^{-1}$ ]
Fe	55,9	7,85	1810	3170	0,46	270	44

#### 4.5.3 Vzdálenost řezací hubice od povrchu řezaného materiálu

Důležitým parametrem je vzdálenost ústí trysky od materiálu při řezání. Délka jádra plamene, tj. také vzdálenost nejteplejšího místa od řezáku se mění podle intenzity a velikosti nahřívacího plamene pro danou tloušťku řezaného materiálu. Příliš velký odstup trysek způsobuje nepřesnost hran řezu. S rostoucí vzdáleností klesá hloubka protavení. Při větších řezacích výko-

nech je naopak nutnost držet hořák v určité minimální výšce kvůli ochraně trysky proti rozstřikujícímu se natavenému materiálu. Optimální výška souvisí s řezacím proudem a tloušťkou materiálu. Pohybuje se od 3 do 8 mm.

Hořák vyžaduje přesné vedení konstantní výšky nad materiálem. Každá úchylka od ideálního stavu vyvolává změnu napětí na hořáku a tím změnu výsledků řezání. Konstantní výšku zajišťuje systém, který pohybuje hořákem ve vertikální ose na základě údajů pocházejících ze zařízení [19].

#### 4.5.4 Tlak plazmového plynu

Tlak plazmového plynu výrazně ovlivňuje řezání na tloušťce řezaného materiálu. Velikost tlaku řezacího plynu je známá z prospektu či návodu. Pokud ne, lze tlak plynu určit ze vztahu (4):

$$p = a \cdot s \quad (3)$$

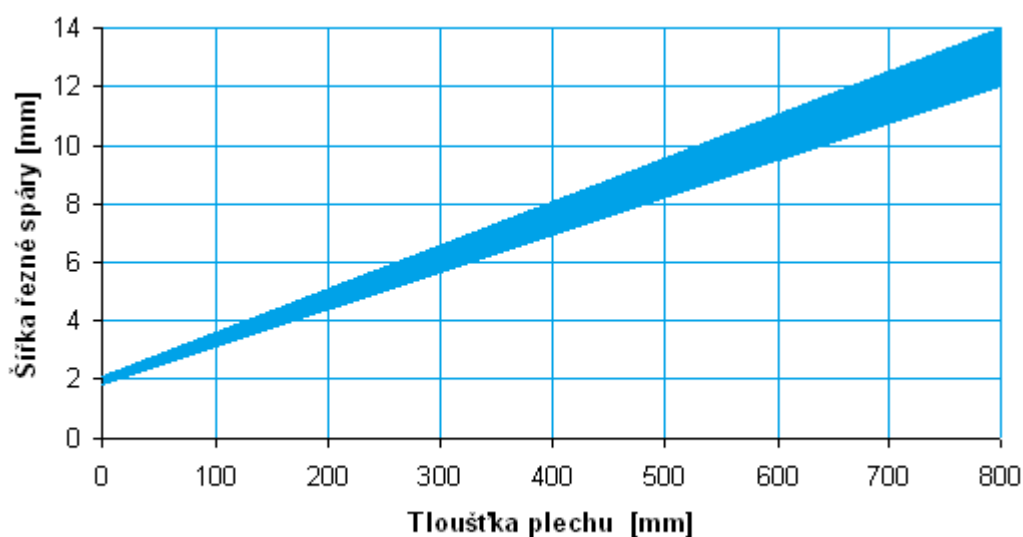
kde:  $a$  – opravný koeficient (0,4 – 0,6) pro strojní řezání,

$s$  – tloušťka plechu [mm].

Optimální tlak řezacího plynu umožňuje dosažení ostrých řezných hran a hladkých řezných ploch. Nadměrné množství kyslíku způsobuje nadměrný odvod tepla do řezaného materiálu, špatnou kvalitu řezu a v samém závěru snižuje rychlost řezání [19].

#### 4.5.5 Šířka řezné spáry

Na kvalitu řezu má vliv rozložení tepelného toku v řezné spáře. Dobré kvality řezu se dosáhne rovnoměrným přívodem tepla po celé tloušťce materiálu, kdy se anodová skvrna nachází na spodním okraji řezu. To dává optimální jakost řezné plochy a kolmé hrany bez otřepů. Šířka řezné spáry závisí na řezné rychlosti, na vzdálenosti trysky od materiálu a na výstupním průměru trysky. Při optimálním seřízení je šířka 1,5 až 2 krát větší než průměr trysky [19]. Graf závislosti tloušťky materiálu na šířce řezné spáry je na obr. 41.



Obr. 41 Graf závislosti tloušťky materiálu na šířce řezné spáry [21].

#### 4.5.6 Vedlejší parametry řezání

Vedlejší parametry řezání jsou rozděleny jako vstupní a výstupní. Vstupní parametry jsou definovány druhem materiálu, tloušťkou, tvarem, chemickými a fyzikálními vlastnostmi.

Výstupní parametry jsou takové, které jsou ovlivněny plazmovým řezáním. Mezi tyto parametry patří drsnost řezné plochy, tvrdost materiálu, velikost tepelně ovlivněné oblasti, změny chemického složení.

#### 4.5.7 Nastavení hodnot parametrů řezání pro výrobu vytipovaných desek

Hodnoty nastavených parametrů plazmového řezání vychází z tabulkových hodnot. Tyto hodnoty jsou vyzkoušeny a prověřeny ve výrobní praxi. Na obr. 42 jsou uvedeny parametry nastavení pro plazmové řezání. Hodnoty nastavení parametrů pro vytipované desky jsou v Tab. 4.5.

Hořák Maximizer300				Plazmový plyn: Vzduch		Sekundární plyn: Vzduch		Materiál: Železo				
Tloušťka mat. (mm)	Elektroda Kat. číslo	Gas Distributor Kat. číslo	Tip Kat. číslo	End Cap Kat. číslo	Proud (A)	Napětí (V)	Přibližná rychlost řez. (m/min)	Výška řezací (mm/min)	Tlak plaz. plynu (bar)	Tlak sek. plynu (bar)	Ořezováno (sekundy)	Výška dířkovač (mm/min)
0,9	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	150	20,3	3,2	4,1	1	0,0	6,3
1,6	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	150	8,9	6,3	4,1	1	0,0	6,3
3,2	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	155	4,2	6,3	4,1	1	0,0	6,3
4,8	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	155	2,5	6,3	4,1	1	0,25	9,5
6,4	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	160	1,2	6,3	4,1	1	0,3	9,5
1,6	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	155	11,4	4,8	4,8	1,4	0,0	9,5
3,2	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	155	6,3	4,8	4,8	1,4	0,0	9,5
4,8	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	155	4,8	4,8	4,8	1,4	0,0	9,5
6,4	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	155	3	4,8	4,8	1,4	0,0	9,5
9,5	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	160	1,9	4,8	4,8	1,4	0,5	6,3
12,7	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	100	160	1,3	4,8	4,8	1,4	0,5	6,3
15,9	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	100	160	1,1	6,3	4,8	1,4	0,5	9,5
6,4	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	150	1,1	6,3	4,8	1,4	0,0	9,5
9,5	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	150	2,5	6,3	4,8	1,4	0,5	12,7
12,7	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	155	2	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
15,9	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	155	1,3	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
19,1	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	155	1,1	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
23,4	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	165	0,7	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
12,7	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	225	140	2,5	6,3	4,8	1,4	0,0	12,7
15,9	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	225	140	1,9	6,3	4,8	1,4	0,25	12,7
19,1	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	225	140	1,4	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
23,4	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	225	155	0,8	7,9	4,8	1,4	0,75	12,7
19,1	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	155	1,3	9,5	5,5	3,1	0,75	12,7
23,4	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	155	1	9,5	5,5	3,1	0,75	12,7
31,8	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	165	0,7	9,5	5,5	3,1	-	-
38,1	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	172	0,4	9,5	5,5	3,1	-	-
44,5	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	180	0,3	9,5	5,5	3,1	-	-
50,8	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	185	0,2	9,5	5,5	3,1	-	-

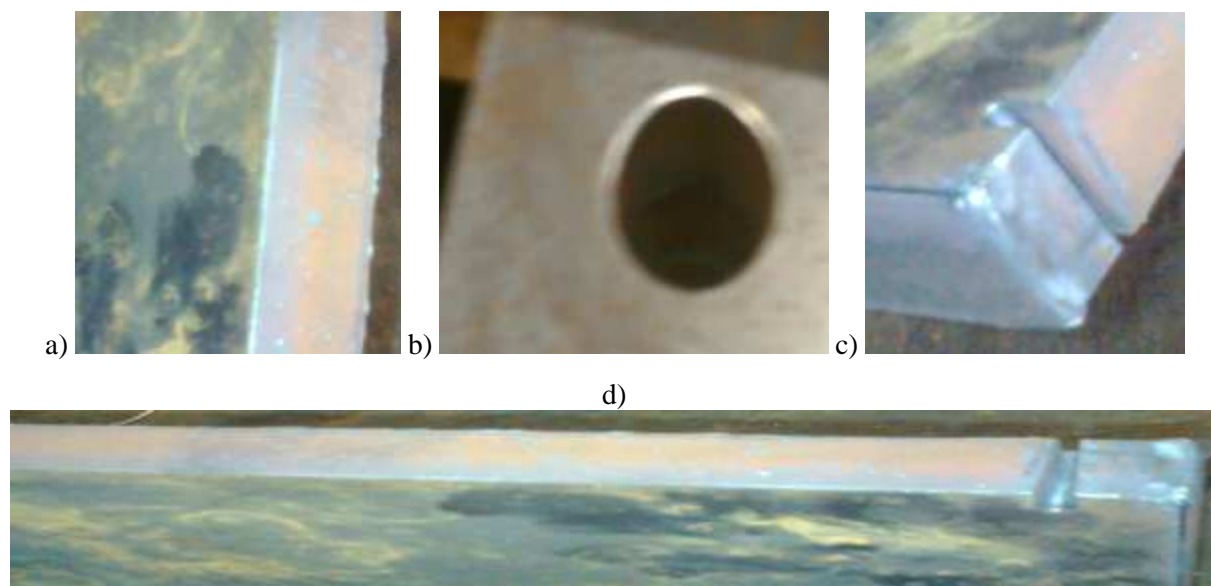
Obr. 42 Hodnoty parametrů pro plazmové řezání (Příloha 6).

Tab. 4.5 Hodnoty parametrů řezání pro vytipované desky.

Parametry řezání	Kotevní deska	Deska průvlaku
Tloušťka materiálu [mm]	25	10
Průměr hlavičky [mm]	2	1,3
Proud [A]	150	100
Napětí [V]	165	160
Přibližná rychlost [ $m \cdot min^{-1}$ ]	0,7	2,5
Výška řezací [mm]	7,9	4,8
Tlak plazmového plynu [MPa]	0,48	0,48
Tlak sekundárního plynu [MPa]	0,14	0,14

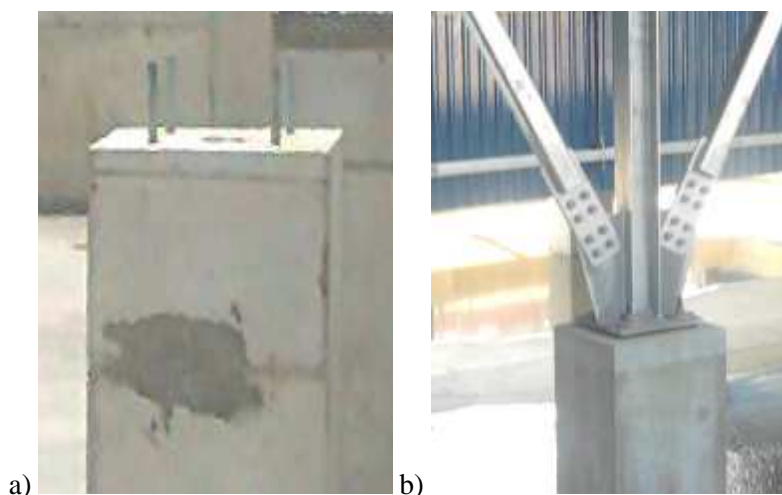
#### 4.5.8 Výroba kotevní desky

Kotevní deska je vyráběna dle zadaných parametrů řezání (viz. Tab. 4.5) a technologického postupu. Jednotlivé fragmenty výroby kotevní desky jsou doloženy v následující fotodokumentaci viz. obr. 43.



Obr. 43 Detaily z výroby kotevní desky: a) okuje a tepelně ovlivněná oblast na povrchu desky, b) vypálená díra, c) startovací a koncový bod řezání, d) natavená hrana výchozího materiálu.

Na obr. 43a jsou vidět na hraně řezu okuje, avšak norma ČSN 9013 nepokládá okuje za vadu. Tepelně ovlivněná oblast je u plazmového řezání výrazně menší než u řezání kyslíkem. Vypálená díra s následným sražením hrany je na obr. 43b. Startovací a koncový bod řezání na výchozím materiálu o tloušťce 25 mm je znázorněn na obr. 43c. Natavenou hranu výchozího materiálu ukazuje obr. 43d. Správně zvolené parametry řezání a technologický postup při výrobě kotevní desky dokládá obr. 44, kde je znázorněna kotevní deska sloupu hotové ocelové konstrukce chladicí věže dle požadavků zákazníka.

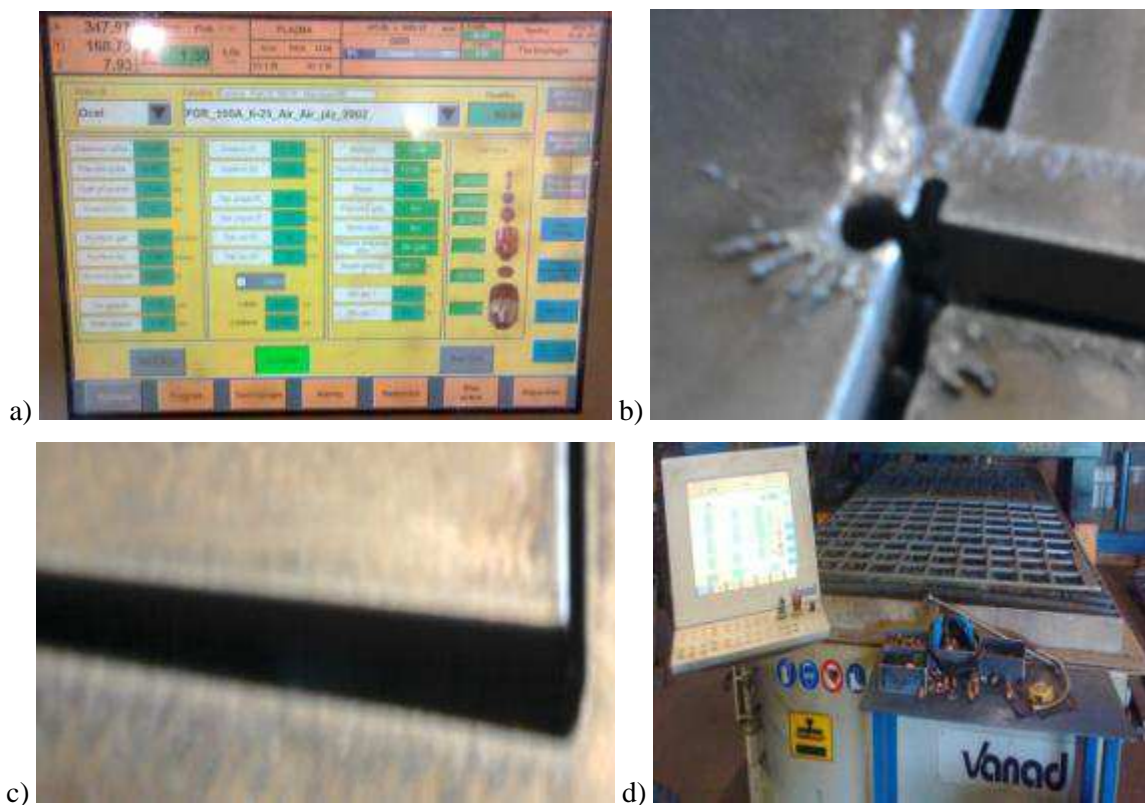


Obr. 44 Realizace vyrobené kotevní desky: a) připravený betonový pilíř bazénu, b) Instalovaná kotevní deska sloupu ocelové konstrukce chladicí věže.



#### 4.5.9 Výroba desky průvluaku

Hodnoty parametrů plazmového řezání vychází z Tab. 4.5 a technologického postupu. Detaily výrobního procesu plazmového řezání desky průvluaku jsou prezentovány fotodokumentací (viz. obr. 45).



Obr. 45 Detaily z výroby desky průvluaku: a) nastavené řezné parametry, b) startovací a koncový bod řezání, c) výpalek desky, d) zbytková mřížka z tabule plechu.

Nastavené parametry řezání desky průvluaku jsou na obr. 45a. Při zapálení dochází místně k natavení materiálu, proto zápalný a ukončovací bod je mimo desku průvluaku (viz. obr. 45b). Na obr. 45c je hotový výpalek osazený v pomyslné mřížce z tabule plechu. Zbytkový materiál po řezání desky průvluaku je na obr. 45d. Deska průvluaku přivařená na sloupu před montáží stěny ocelové konstrukce je znázorněna na obr. 46.







Obr. 46 Deska průvluaku před montáží stěny ocelové konstrukce.



#### 4.6 Výrobní vady plazmového řezání

Při nesprávně nastavených podmínkách plazmového řezání se mohou vyskytovat vady. Nejčastější vady plazmového řezání jsou uvedeny v Tab. 4.6.

Tab. 4.6 Vady řezů plazmového řezání a jejich příčiny.

Vady řezů a jejich příčiny	
Druh vady	Možná příčina
 <p><b>Natavená horní hrana řezu</b></p>	Malá rychlost řezání a malá vzdálenost hořáku od povrchu řezaného materiálu.
 <p><b>Proteklý kov</b></p>	Velká rychlost řezání, mnoho plazmového plynu.
 <p><b>Zkosení plochy řezu</b></p>	Velká rychlost řezání a velká vzdálenost hořáku od povrchu řezaného materiálu.
 <p><b>Vzdutí plochy řezu</b></p>	Nevycentrovaná elektroda nebo opotřebovaná tryska.

**Poloha bodu zapálení**

Nevhodně zvolený bod zapálení, dochází k natavení materiálu.

Povrch a jakost povrchu ovlivňuje drážkování a tepelně ovlivněná oblast v místě plazmového řezání. Na obr. 47 je znázorněna ukázka drážkování a tepelně ovlivněné oblasti.



a)



b)

Obr. 47 Jakost povrchu řezané plazmou: a) drážkování, b) tepelně ovlivněná oblast

Mírné známky drážkování bez prohlubenin jsou známkou vyšší rychlosti řezání. Tepelně ovlivněná oblast, která zasahuje 2 mm od okraje řezané díry.

#### 4.7 Bezpečnost a ekologie při práci

Při technologickém procesu plazmového řezání je nutno dodržovat bezpečnostní opatření. Proto provoz a údržbu plazmových řezacích zařízení musejí zajišťovat pouze proškolení pracovníci s ochrannými pomůckami. Hlavní zdravotní rizika při dělení plazmou [22,23]:

- nebezpečí úrazu elektrickým proudem,
- ultrafialové a světelné záření,
- nebezpečí vdechování plyných zplodin a prachových částic,
- nebezpečí popálení,
- hluk.

Nebezpečí úrazu elektrickým proudem hrozí zejména při poruše izolace hořáku, přívodního kabelu a při porušení krytu stroje. Na hořáku se může vyskytovat napětí až 280 voltů a max. po dobu jedné sekundy jsou generovány vysokonapěťové zapalovací impulsy.

Pilotní a řezací oblouk je zdrojem velmi intenzivního světelného a zejména ultrafialového záření. Toto záření může během velice krátké doby značně poškodit zrak a při déle trvajícím působení způsobuje zarudnutí až popáleniny nekrytých částí kůže. Proto se doporučuje používání svařovací kukly vybavenou neporušeným filtrem se stupněm ochrany min. 10. Taktéž

svářečské rukavice a zástěra se svářečským oděvem s pokrývkou hlavy a uzavřená obuv jsou výraznou prevencí proti úrazu.

Při řezání vzniká velké množství plyných a prachových částic řezaného materiálu. Vlivem vysokých teplot dochází k chemickým reakcím a vzniku různých oxidů a jiných sloučenin, z nichž některé jsou zdraví škodlivé. Při ultrafialovém záření a při vysokých teplotách vzniká rovněž značné množství ozónu a oxidu dusíku. Pracoviště musí být proto dobře větrané a vybavené účinným systémem.

Nebezpečí popálení vzniká při řezání od odletujících částic rozžhaveného kovu, od plasmového oblouku a horkého řezaného materiálu. Tenký paprsek rozžhavené plazmy (4. skupenství hmoty) dosahuje ve svém jádře až 10000 °C.

Stroj při své činnosti produkuje luk, jehož hladina dosahuje hodnoty 80 – 85dB. Při dlouhodobější práci jsou doporučeny používat chrániče sluchu.

Ve výrobním procesu vzniká množství odpadu. Jako jsou třísky, plechové odstřížky, prachové částice, plastové zbytky, fólie a dřevěný materiál. Samozřejmostí je správné třídění do jednotlivých odpadových tříd. Rovněž skladování provozních kapalin se řídí dle ekologických a bezpečnostních norem. O tom, že je dodržována bezpečnost práce a ekologie dokládá certifikát managementu bezpečnosti práce podle normy ČSN OHSAS 18001:2008.

#### **4.8 Závěr k návrhu technologie**

V této kapitole jsou vytipované desky obráběny metodou plazmového řezání. Tato nekonvenční metoda obrábění splňuje požadavky firmy pro řezání materiálu do tloušťky 25 mm, což plně dostačuje pro řezání komponent chladicí věže.

Stručný princip plazmy a řezání plazmatem podtrhují výhody a nevýhody této nekonvenční metody. Hlavní strojní zařízení pro plazmové řezání používané pro výrobu výpalků je od předních Česko – slovenských výrobců. Plazmový zdroj, kompresor, CNC pálicí stroj, filtrační a odsávací zařízení společně se strojním hořákem jsou hlavní části pro plazmové řezání. Technické specifikace a jednotlivé strojní zařízení jsou popsána v jednotlivých podkapitolách.

Samotné plazmové řezání je složeno z 5 fází. Jsou to: předfuk, pilotní oblouk, startování, řezací oblouk a dofuk. Je navržen technologický postup výroby kotevní desky a desky průvlaku. Na základě DXF formátu výkresu jsou v programu WRYKRYYS vytvořeny ISO kódy pro CNC pálicí stroj VANAD Proxima. Zbývá nastavit optimální parametry řezání pro zvolené desky. Tyto nastavené parametry jsou prověřeny ve výrobním procesu. Část výroby kotevní desky a desky průvlaku je přiblížena ve výrobní fotodokumentaci. Realizace jednotlivých desek je doložena na vyrobené a postavené ocelové konstrukci dle požadavků zákazníka. Plazmové řezání není samozřejmě dokonalé. Drobné vady způsobené nevhodnými parametry řezání jsou zachyceny v Tab. 4.6. Při technologickém procesu plazmového řezání je nutné dodržovat bezpečnost práce a ekologické normy.

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Obsahem této kapitoly je výpočet nákladů komponent z chladicí věže. Konkrétně se jedná o výpočet nákladů pro zhotovení výpalků desek plazmovým řezáním. U vytipovaných desek bude proveden rozbor využití materiálu. Pro kotevní desku a desku průvlaku budou spočteny celkové náklady pro jejich výrobu. Technické zhodnocení shrnuje výrobu vytipovaných desek.

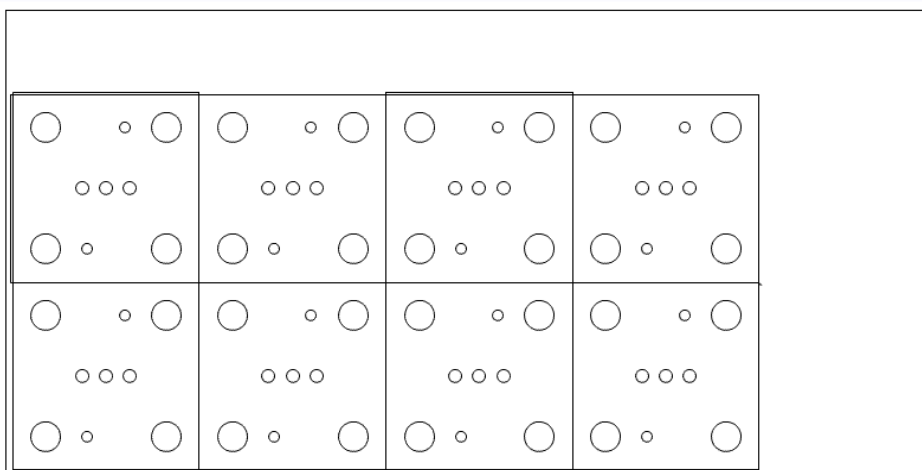
### 5.1 Využití materiálu

Výpočet využití materiálu je spočítán pro kotevní desku a desku průvlaku. Náklady desek jsou rozpočítány dle spotřeby materiálu tak materiálového zhodnocení.

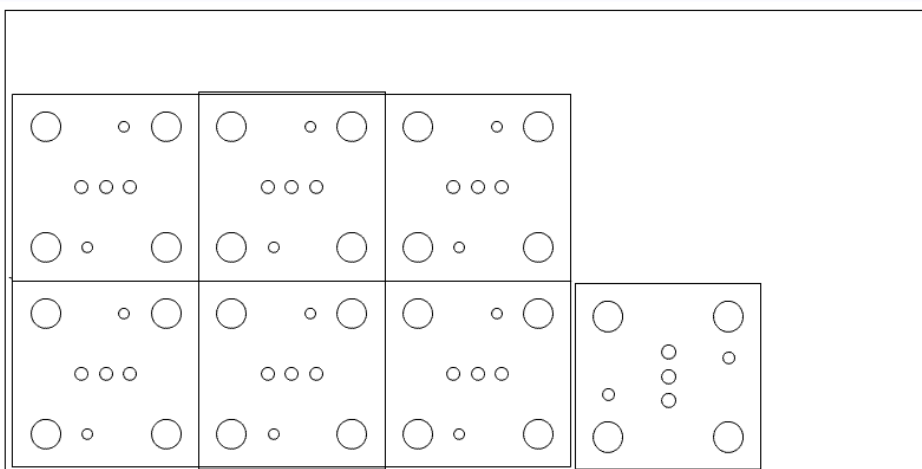
#### 5.1.1 Využití a zhodnocení materiálu kotevní desky

Pro výpočet využití materiálu kotevní desky je využito technologického programu WRY-KRYS, Nesting [15]. Jako výchozí polotovar je zvolen plech válcovaný za tepla o rozměrech 25 x 1000 x 2000 mm z materiálu S235JR. Výsledek technologického návrhu je na obr. 48.

Výsledky nestingu:



a) Využití tabule v procentech 57.4%



b) Využití tabule v procentech 50.3%

Obr. 48 Využití plechu: a) tabule č.1, b) tabule č. 2. [15].

Při rozmístění výpalků byla nastavena mezera 10 mm. Spotřebu materiálu uvádí Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Tabulka spotřeby materiálu pro výrobu kotevní desky.

Rozměry polotovaru [mm]	Počet polotovarů z plechu [ks]	Počet plechů [ks]	Využití tabule [%]	Hmotnost 1 tabule plechu [kg]	Hmotnost mat. pro výrobu [kg]	Hmotnost odpadu [kg]
<b>400 x 400</b>	8	1	57,4	392,5	225,6	166,9
<b>400 x 400</b>	7	1	50,3	392,5	197,4	195,1
<b>Σ</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>53,85</b>	<b>785</b>	<b>423</b>	<b>362</b>

Zbytky tabule plechu se zpracují při další zakázce. V Tab. 5.2 je vypočítáno ekonomické zhodnocení materiálu pro kotevní desku.

Tab. 5.2 Ekonomické zhodnocení materiálu kotevní desky.

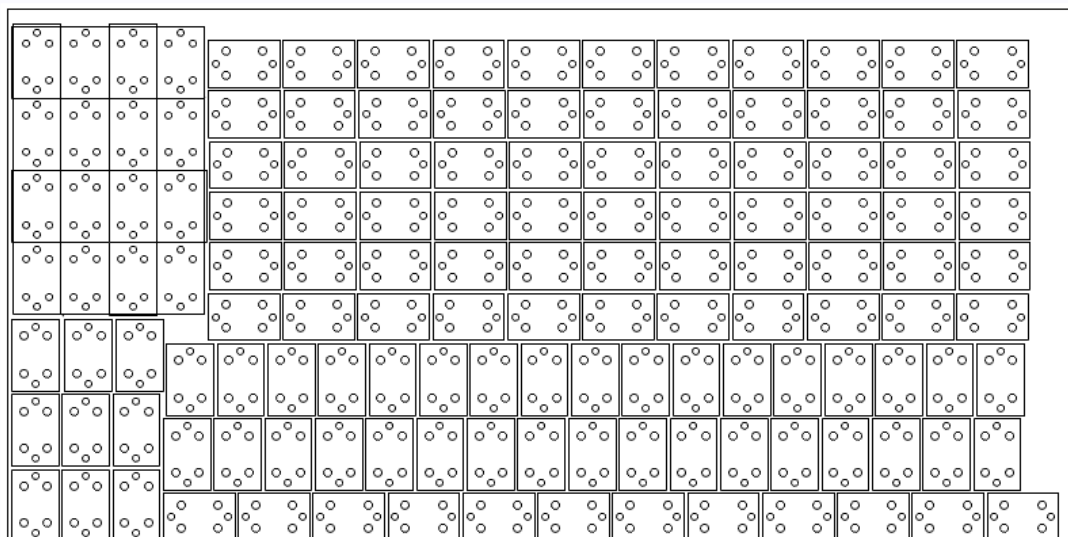
Ekonomické zhodnocení materiálu	
<b>1 kg oceli S235JR [Kč]</b>	19,80
<b>Hmotnost tabule plechu [kg]</b>	392,5
<b>Cena tabule plechu [Kč]</b>	7771,5
<b>Počet tabulí plechu pro výrobní sérii [ks]</b>	2
<b>Cena materiálu výrobní série [Kč]</b>	<b>15543</b>

Cena materiálu výrobní série kotevní desky je vykalkulována na částku 15543,- Kč.

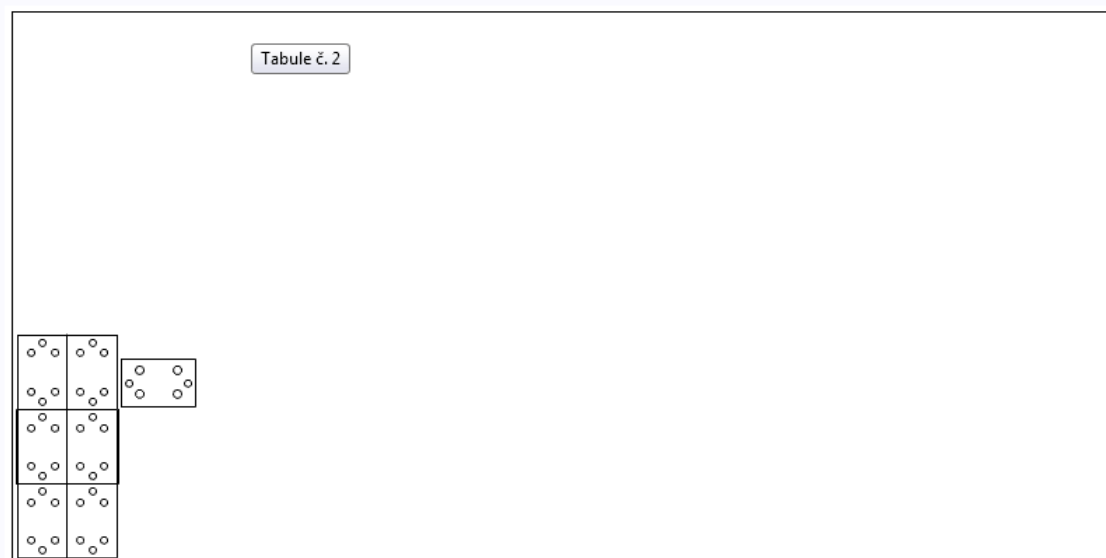
### 5.1.2 Využití a zhodnocení materiálu desky průvlaku

Výchozí materiál desky průvlaku je plech válcovaný za tepla o rozměrech 10 x 1500 x 3000 mm. Technologický návrh umístění desek průvlaku dle programu WRYKRY, Nesting [15] je na obr. 49.

Výsledky nestingů:



a) Využití tabule v procentech 73.8%



b) Využití tabule v procentech 3.8%

Obr. 49 Využití plechu: a) tabule č.1, b) tabule č. 2. [15].

Mezera mezi jednotlivými výpalky je nastavena na 10 mm. Spotřeba materiálu desky průvlaku je uvedena v Tab. 5.3.

Tab. 5.3 Tabulka spotřeby materiálu pro výrobu desky průvlaku.

Rozměry polotovaru [mm]	Počet polotovarů z plechu [ks]	Počet plechů [ks]	Využití tabule [%]	Hmotnost 1 tabule plechu [kg]	Hmotnost mat. pro výrobu [kg]	Hmotnost odpadu [kg]
<b>132 x 200</b>	137	1	73,8	353,2	260,3	92,9
<b>132 x 200</b>	7	1	3,8	353,2	13,3	339,9
<b>Σ</b>	<b>144</b>	<b>2</b>	<b>38,8</b>	<b>706,4</b>	<b>273,6</b>	<b>432,8</b>

První tabule plechu má využití téměř 74%. Využití tabulí výrazně ovlivňuje rozmístění použitých 7 desek na tabuli plechu č. 2. Zbytek tabule bude zpracován v této zakázce při zhotovení dalších výpalků. Ekonomické zhodnocení desky průvlaku je v Tab. 5.4.

Tab. 5.4 Ekonomické zhodnocení materiálu desky průvlaku.

Ekonomické zhodnocení materiálu	
<b>1 kg oceli S235JR [Kč]</b>	19,80
<b>Hmotnost tabule plechu [kg]</b>	353,2
<b>Cena tabule plechu [Kč]</b>	6993,40
<b>Počet tabulí plechu pro výrobní sérii [ks]</b>	2
<b>Cena materiálu výrobní série [Kč]</b>	<b>13986,80</b>

Cena pro pořízení materiálu pro výrobu desky průvlaku je spočtena na částku 13987,- Kč.

## 5.2 Výpočet nákladů vytipovaných desek

Celkové náklady jsou složeny z výpočtu nákladů pro zhotovení výpalků plazmou, ceny hořáku, nákladů spotřebních dílů a mezd obsluhy.

### 5.2.1 Výpočet nákladů na zhotovení výpalků plazmou

Výpočet je složen z nákladů plazmového řezání kotevní desky a desky průvlaku. Výroba se výrazně liší jak počty výpalků, tak délkou pálených obvodů. Náklady pro výrobu výpalků jsou uvedeny v Tab. 5.5.

Tab. 5.5 Náklady na zhotovení výpalků plazmou.

Typ desky	Tloušťka mat. [mm]	Kusů	Počet nápalů	Délka obvodu [m]	Plazma [Kč]
Kotevní deska	25	15	150	30,59	2202,48
Deska průvlaku	10	144	1008	153,52	3530,96

Výsledná cena nákladů jednotlivých desek se odvíjí od vstupních požadavků na tloušťku, kusy, počet nápalů i délku páleného obvodu. Výsledné ceny plazmového řezání byly převzaty z firemních podkladů.

### 5.2.2 Výpočet ceny plazmového hořáku

Plazmový hořák je složen z těla hořáku, elektrody, vířivého kroužku, trysky a krytek (viz. obr.37). Ceny jednotlivých částí hořáku Maximizer 300 [20] vychází ze stránek amerického prodejce [24]. Ceny component jsou přepočteny na české koruny v aktuálním směnném kurzu [25]. Cena hořáku je vypočtena v Tab. 5.6.

Tab. 5.6 Cena plazmového hořáku Maximizer 300.

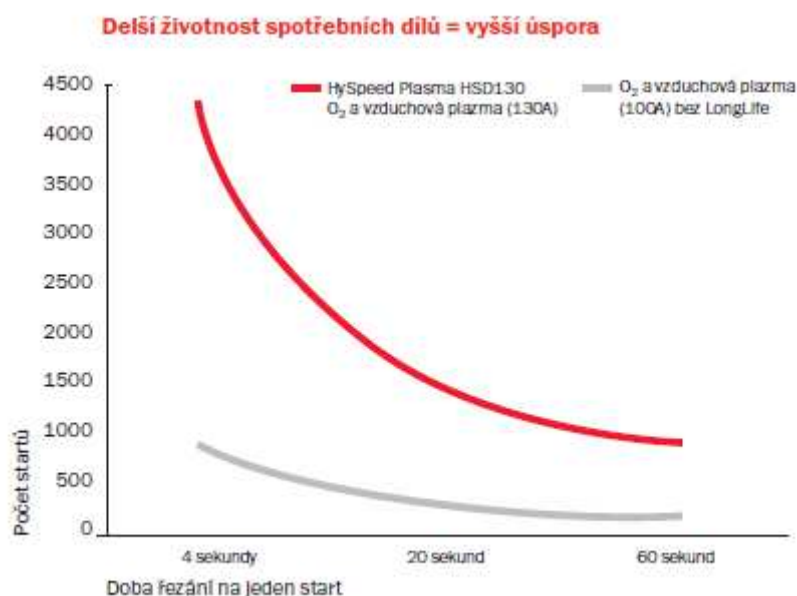
Ekonomické zhodnocení plazmového hořáku	
elektroda	358
vířivý kroužek	752
tryska	176
standardní krytka	2679
čelní krytka	474
tělo hořáku	9145
Cena celkem [Kč]	13584

Cena plazmového hořáku je vyčíslena na částku 13584,- Kč.

### 5.2.3 Výpočet nákladů na výměnu spotřebních dílů

Zvolená tryska plazmového hořáku závisí na tloušťce materiálu. Pro řezanou kotevní desku o tloušťce materiálu 25 mm je předepsán průměr hlavice trysky 2 mm. Z toho vyplývá, že řezná spára bude větší pro tloušťku tabule plechu 25mm než u desky o tloušťce 10 mm. Proto před řezáním desky průvlaku musí být provedena výměna trysky za průměr hlavice 1,3 mm. Životnost spotřebního dílu trysky je převzata z grafu firmy Hypertherm [26].





Obr. 50 Životnost spotřebních dílů při plazmovém řezání [26].

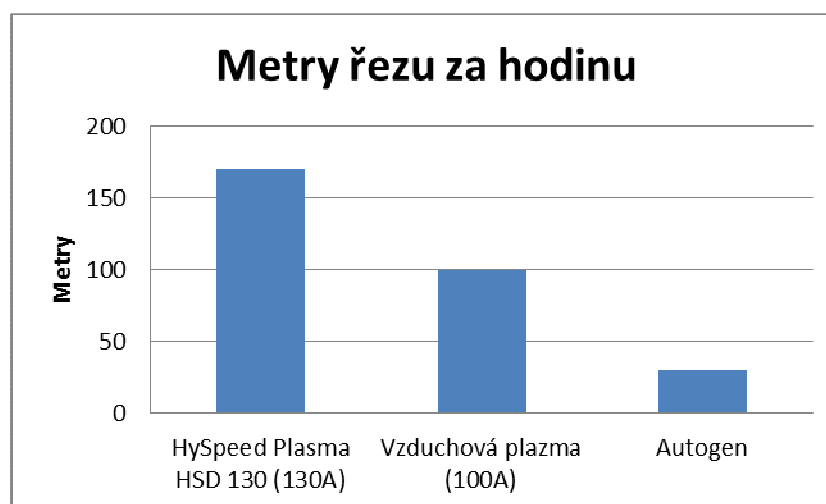
Za předpokladu 1008 nápalů u výroby desky průvlaku při době řezání cca 15 sekund, odpovídá životnost trysky přibližně 500 nápalům. Ekonomické zhodnocení spotřebních dílů pro výrobu desek je v Tab. 5.7.

Tab. 5.7 Cena plazmového hořáku Maximizer 300.

Typ desky	Počet trysek [ks]	Cena [Kč]
<b>Kotevní deska</b>	1	176
<b>Deska průvlaku</b>	2	352
<b>Σ</b>	<b>3</b>	<b>528</b>

#### 5.2.4 Výpočet nákladů mezd obsluhy

Pálicí plazmové CNC centrum VANAD proxima ovládají 2 pracovníci. Náplň práce obsluhy pálicího stroje spočívá ve vytváření pálicího programu, obsluze CNC pálicího stroje, zakládání materiálu, odebírání výpalků a údržba stroje. Pro orientační mzdové náklady poslouží graf (viz. obr. 51).



Obr. 51 Produktivita řezů jednotlivých nekonvenčních metod [26].

Z grafu vyplývá, že vzduchová plazma za hodinu provozu vykoná 100 metrů řezu při proudu 100 A. Celkový počet 144 výpalků je možné zařezat za cca 1,5 hodiny. Kotevní deska o tloušťce 25 mm má délku páleného obvodu 30,59 m. Při řezné rychlosti  $0,7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  což je  $42 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$  čas potřebný pro pálení požadovaných kusů činí přibližně 0,45 hodiny. Na manipulaci s materiálem je počítán čas 0,45 hodiny. Výsledné mzdové náklady uvádí Tab.5.8.

Tab. 5.8 Ekonomické zhodnocení mzdových nákladů.

Ekonomické zhodnocení mzdových nákladů	
Čas pálení desky prův laku [h]	1,5
Čas pálení kotevní desky [h]	0,45
Manipulace s materiálem, výměna trysky [h]	0,45
Celkový čas na výrobu požadovaných desek [h]	3
Mzdové náklady na 1 pracovníka [ Kč . h <sup>-1</sup> ]	90
Mzdové náklady na 2 pracovníky [ Kč . h <sup>-1</sup> ]	180
Celkový počet hodin výroby desek [h]	3
Celkové mzdové náklady [ Kč]	540

Celkové mzdové náklady na řezání vytipovaných desek pro 2 zaměstnance činí 540,- Kč.

### 5.2.5 Celkové náklady na výrobu kotevní desky a desky prův laku

Celkové náklady na výrobu kotevní desky a desky prův laku jsou součtem jednotlivých dílčích nákladů. Celkové náklady jsou uvedeny v Tab. 5.9.

Tab. 5.9 Celkové náklady na výrobu vytipovaných desek.

Ekonomické zhodnocení mzdových nákladů	
Cena materiálu kotevní desky [ Kč]	15543
Cena materiálu desky prův laku [ Kč]	13987
Náklady na zhotovení výpalku kotevní desky [ Kč]	2202,48
Náklady na zhotovení výpalku desky prův laku [ Kč]	3530,96
Cena plazmového hořáku [ Kč]	13584
Cena spotřebních dílů [ Kč]	528
Mzdové náklady [ Kč]	540
Celkové náklady na výrobu vytipovaných desek [ Kč]	49915,40

### 5.2.6 Technické zhodnocení výroby vytipovaných desek

Již samotná příprava výroby má vliv na spolehlivé, produktivní a bezpečné plazmové řezání. Technologický program WRYKRYs maximalizuje využití materiálu efektivním rozvržením pálicích plánů.

Při plazmovém řezání kotevní desky a desky průvlaku CNC plazmové centrum pracuje se dvěma odlišnými řeznými podmínkami. Pro pálení desky průvlaku stroj pracuje s proudem 100 A, hlavicí trysky o průměru 1,3 mm. Menší tloušťka materiálu a menší průměr hlavice umožňuje téměř 4 násobnou rychlost řezání než při řezání kotevní desky. Pro tloušťku materiálu 25 mm je potřebný dostatečný zdroj proudu, tj. 150 A, hlavice trysky o průměru 2 mm.

Díky nižší rychlosti ( $0,7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) je nutné nastavit větší řezací výšku, aby nebyl teplotně ovlivněn povrch řezaného materiálu. Pro obě desky je nastaven shodný tlak plazmového a sekundárního plynu.

Pouze správným nastavením řezných parametrů dosáhneme kvalitních řezů o vysoké produktivitě. Nedílnou součástí plazmového řezání je dodržování pravidel bezpečnosti práce.

### 5.2.7 Závěr k technicko-ekonomickému zhodnocení

Za využití technologického programu jsou rozvrženy desky pro plazmové řezání. Na základě tohoto návrhu je zjištěno využití tabulí plechu pro výrobu kotevní desky a desky průvlaku. Jsou vypočteny náklady na materiál k realizaci počtu desek pro ocelovou konstrukci chladicí věže. Celkové výrobní náklady zahrnují zhotovení výpalků vytipovaných desek, cenu plazmového hořáku s výpočtem spotřeby počtu trysek a mzdové náklady. Celková cena na výrobu 2 druhů desek je 49915,- Kč. V technickém zhodnocení jsou shrnuty rozdíly řezných podmínek pro kotevní desku a desku průvlaku.

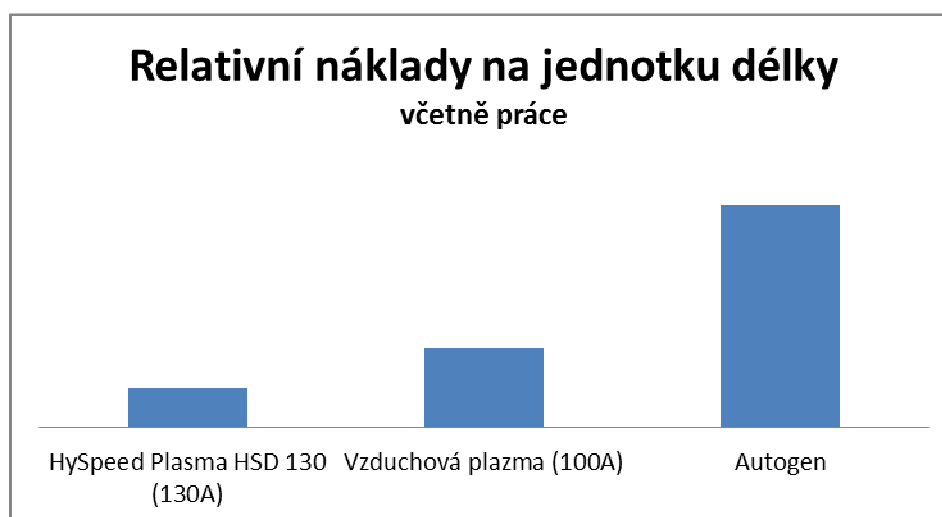
## 6 DISKUZE

Pro výrobu ocelové konstrukce chladicí věže je potřeba vyrobit mimo jiné více než 70 druhů různých desek. Celkový počet desek je 2071 kusů. Výroba těchto desek probíhá nekonvenční metodou plazmového řezání. Přehled používaných tloušťek desek a ekonomické vyčíslení nákladů řezání je uveden v Tab. 6.1.

Tab. 6.1 Výpočet nákladů desek na zhotovení výpalků plazmou a Acetylenem.

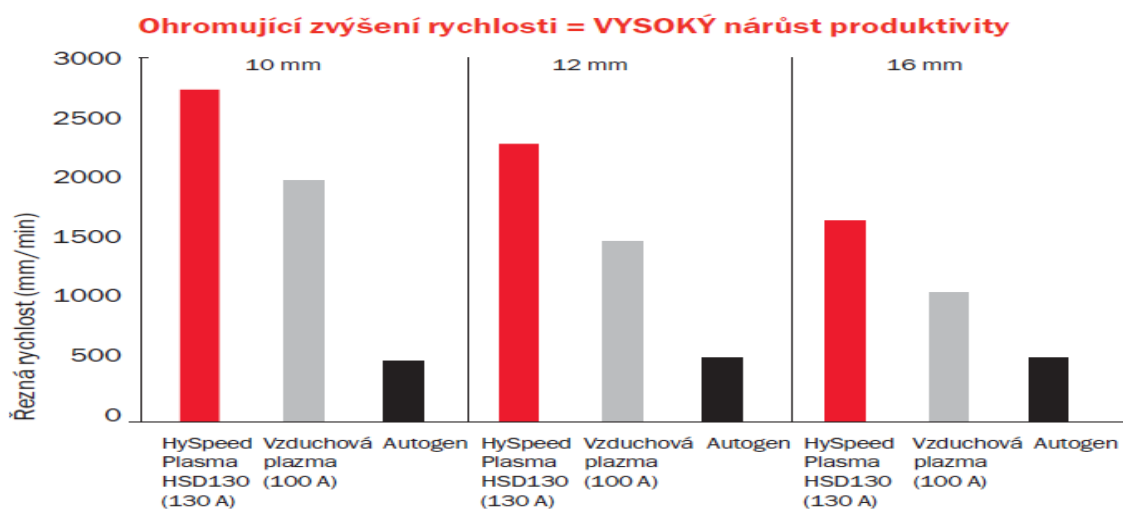
Tloušťka mat. [mm]	Počet kusů	Počet nápalů	Délka obvodu [m]	Plazma [Kč]	Acetylen [Kč]
2	64	64	38,4	576	
5	20	60	9,51	171,18	218,73
6	218	638	42,61	894,81	916,1
8	1428	4426	909,69	24561,63	28655,24
10	282	2018	303,24	8490,72	9703,7
12	8	84	7,24	217,2	246,16
15	62	122	33,68	1246,16	1444,8
25	15	150	30,59	2202,48	1835,4
<b>Σ</b>	<b>2097</b>	<b>7562</b>	<b>1374,96</b>	<b>37784,18</b>	<b>43020,13</b>

Z grafu je patrná rozmanitost tloušťek materiálu, délka páleného obvodu a levnější náklady pro pálení výpalku nekonvenční metodou plazmového řezání. Rozdíl je 5236,- Kč ve prospěch plazmového řezání. Do výpočtu ceny není zahrnuta cena u řezání acetylenem pro tloušťku materiálu 2 mm, protože kyslíková technologie není z důvodu tvarové stability vhodná pro řezání tenkostěnných materiálů. Technologie kyslíkového řezání se používá od 5 mm výše. Dále při tloušťce materiálu 25 mm jsou nižší náklady u acetylenem. Obecně platí, že řezání oceli plazmou je výhodné pro materiály do tloušťky 25 mm a plamenové technologie nad 25 mm tloušťky materiálu. Jelikož tloušťka 25 mm plně dostačuje pro výrobu komponent chladicí věže a je ekonomicky výhodná, jsou veškeré plechy řezány plazmou. Rozdíl v nákladech na řezání je znázorněn a doložen na obr. 52.



Obr. 52 Relativní náklady na jednotku délky[26].

Vysoká produktivita řezání je dána vyššími řeznými rychlostmi, rychlým propálením a minimálními dokončovacími operacemi. Produktivita plazmové nekonvenční metody řezání je znázorněna na obr.53.



Obr. 53 Produktivita plazmového řezání versus autogen.[26].

Lze konstatovat, že plazmová technologie a technologie kyslíková dosahují při optimálních podmínkách řezné rychlosti podobných kvalit řezu. Plazmová technologie se vyznačuje vyšší řeznou rychlostí, produktivitou a levnějšími provozními náklady do tloušťky materiálu 25 mm. Nevýhoda plazmového řezání spočívá v nedodržení kolmosti při řezání, především u malých otvorů a omezená tloušťka řezaného materiálu. Při vyšších rychlostech vznikají vady typu drážkování či zvětšení řezné spáry.

Kyslíková technologie se vyznačuje dobrou jakostí řezů, nevýhodou je až 5x vyšší velikost tepelně ovlivněné oblasti. Kyslíkovou technologií můžeme řezat pouze materiály, jejichž teplota hoření je vyšší než teplota tavení.

Správně zvolené parametry řezání a technologický postup při výrobě dokládá obr. 54, kde je vyobrazena postavená chladič věž dle parametrů zákazníka.



Obr. 54 Postavená chladič věž dle parametrů zákazníka.[1].

## ZÁVĚR

Dle požadavků zákazníka je zpracován a namodelován návrh chladicí věže. Model je vytvořen za pomoci softwaru ProEngineer/Creo. Model chladicí věže slouží ke specifikaci jednotlivých komponent a ke tvorbě výrobní dokumentace.

Z ocelové konstrukce chladicí věže jsou vybrány 2 ocelové desky z materiálu S235JR pro nekonvenční metody obrábění. Je zvolena technologie plazmového řezání. Touto technologií bude řezána kotevní deska a deska průvlaku.

Pro výrobu desek o různých tloušťkách a rozměrech je navrženo:

- strojní zařízení,
- výrobní postup,
- parametry řezání,
- bezpečnost a ekologie výroby.

Technicko-ekonomické zhodnocení výroby kotevní desky a desky průvlaku zahrnuje:

- využití a zhodnocení materiálu,
- výpočet nákladů na zhotovení výpalku plazmou,
- výpočet ceny plazmového hořáku,
- výpočet ceny spotřebních dílů,
- mzdové náklady,
- technické zhodnocení výroby vybraných desek,
- celkové náklady na výrobu 2 vytipovaných desek jsou 49915,- Kč.

Pro výrobu ocelové konstrukce chladicí věže je třeba vyrobit mimo jiné 2071 kusů desek o tloušťce 2 – 25 mm. Porovnáním plazmové a kyslíkové technologie řezání bylo zjištěno, že náklady plazmového řezání jsou o 5236,- Kč levnější než řezání kyslíkové.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FANS a. s. : *Interní zakázka chladicí věže*. [s.l.]: Fans, a. s., © 2012.
2. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV: *Teplota vlhkého teploměru*. [online]. ©2011 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1309452690>
3. LABORATORNÍ PRŮVODCE: *Psychrometrické tabulky*. [online]. ©2011 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.labo.cz/mft/psychrometr.htm>
4. FANS a. s. : *Ocelové chladicí věže s nuceným tahem*. [online]. ©2012 [cit. 2012-03-28]. Dostupné z: <http://www.fans.cz/chladici-zarizeni/ocelove-chladici-veze.htm>
5. BOHDAN BOLZANO s.r.o. : *Přehled vlastností oceli S235JR*. [online]. ©2012 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>
6. Wiegel CZ žárové zinkování s.r.o. : *Žárové zinkování*. [s.l.]: Wiegel CZ žárové zinkování s.r.o. © 2012.
7. ROUBÍČEK, Martin. *Kritéria volby metody a trendy tepelného dělení materiálů*. [online]. ©2007 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <http://www.airliquide.cz/cs/tisko/odborne-publikace/lanky.html>
8. NUR GROUP : *Obrázek plazmového řezání*. [online]. ©2012 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.nurgroupsteel.com/en/cutting-and-bending/plasma-cutting>
9. JEAN GUILLE S.A. : *Obrázek kyslíkového řezání*. [online]. ©2002 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: [http://www.guille-aciers.com/client\\_gb.htm](http://www.guille-aciers.com/client_gb.htm)
10. PÍŠKA, Miroslav, a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
11. ŘASA, Jaroslav, KEREČANINOVÁ, Zuzana. *Nekonvenční metody obrábění 8. díl: Plasma PBM*. [online]. ©2008-10-08 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-8-dil.html>
12. FORMICA spol. s r.o. : *Plazmové zdroje ForCUT*. [online]. ©2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.formica.sk/>
13. ORLÍK-KOMPRESORY výrobní družstvo : *Šroubové kompresory*. [online]. ©2007 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://orlik.cz/cs/produkty.aspx?id=ee>
14. VANAD 2000 a. s. : *CNC pálicí stroje*. [online]. ©2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.vanad.cz/proxima>
15. LUBOMÍR CHUDEK-ANRA : *Technologický program WRYKRYs*. [online]. ©2008-2010 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://77.48.47.250/Index.aspx>
16. TIGEMMA, spol. s r.o. : *Filtrační a odsávací zařízení*. [online]. ©2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.tigemma.cz/cz/kategorie/filtracni-a-odsavaci-zarizeni-tig-fs.aspx>
17. KUBÍČEK, J., KANDUS, B., AMBROŽ, O. *Technologie svařování a zařízení*. 2. vyd. Ostrava: ZERROS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.



18. TORCHMATE : *Hořák s transferovým obloukem*. [online]. ©2010 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.plasma-cutter.com/technical.htm>
19. MINAŘÍK, V. *Tepelné dělení materiálu*. 1.vyd.Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-01-01028-7.
20. THERMAL DYNOMIC: *Plazmový hořák Maximizer 300*. [online]. ©2010 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: [www.katalog.apl-cutting.com/plasma/Thermal/maximizer300.pdf](http://www.katalog.apl-cutting.com/plasma/Thermal/maximizer300.pdf)
21. GERYK, P. *Porovnání technických a ekonomických parametrů řezání laserem a plazmou*. Brno, 2006. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
22. ALFA IN a. s. : *Svařovací a řezací stroje*. [online]. ©2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: [http://www.alfain.eu/cs/ke\\_stazeni.php](http://www.alfain.eu/cs/ke_stazeni.php)
23. KŘÍSTEK, Jiří, RAJEC, Štefan. *Bezpečnost práce při svařování – Díl 4*. Ostrava: ZERROS, 1993. ISBN 80-85-7710-39.
24. ARC-ZONE: *Svařovací a plazmová technika*. [online]. ©2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: [http://www.arczone.com/index.php?main\\_page=advanced\\_search\\_result&search\\_in\\_description=1&keyword=maximizer+300&x=0&y=0](http://www.arczone.com/index.php?main_page=advanced_search_result&search_in_description=1&keyword=maximizer+300&x=0&y=0)
25. ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA: *Kurz amerického dolaru*. [online]. ©2003-2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.cnb.cz/cs/index.html>
26. TRADE, s r.o. : *Dodavatel svářecí techniky*. [online]. ©2008 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: [www.tradeweld.cz/files/1/HSD%20130%20prospekt%20český.pdf](http://www.tradeweld.cz/files/1/HSD%20130%20prospekt%20český.pdf)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
BAZ	[-]	bazén
CHV	[-]	chladicí věž
CNC	[-]	computer numeric control
CTF	[-]	cooling tower Fans
ČSN	[-]	česká státní norma
DWG	[-]	nativní formát, DraWinG
DXF	[-]	drawing exchange format
EN	[-]	evropská norma
FV	[-]	filtrace vody
LAN	[-]	local area network
NMO	[-]	nekonvenční metody obrábění
OCHV	[-]	ochlazená voda
OTV	[-]	oteplená voda
UV	[-]	úpravna vody

Symbol	Jednotka	Popis
$C_1$	$[J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrné teplo mat. v rozmezí $(T_0 - T_1)$
$C_2$	$[J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrné teplo mat. v rozmezí $(T_1 - T_2)$
$I_{EO}$	[A]	proud na oblouku
Q	$[J \cdot g^{-1}]$	množství tepla potřebného k odtavení jednotkového objemu materiálu z místa řezu
$Q_1$	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	maximální průtok
$T_0$	[K]	teplota materiálu n začátku řezání
$T_1$	[K]	teplota tavení
$T_2$	[K]	teplota varu
U	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	napětí na oblouku
a	[-]	opravný koeficient

<b>b</b>	[cm]	střední šíře spáry
<b><math>d_1</math></b>	[mm]	šířka spáry
<b><math>d_2</math></b>	[mm]	šířka spáry
<b>k</b>	[-]	součinitel vyjadřující podíl vypařeného kovu
<b><math>m_a</math></b>	[kg]	atomová hmotnost
<b>p</b>	[Pa]	tlak
<b><math>q_1</math></b>	[J.g <sup>-1</sup> ]	tep. energie kovu při teplotě tavení, resp. varu
<b><math>q_2</math></b>	[J.g <sup>-1</sup> ]	tep. energie kovu při teplotě tavení, resp. varu
<b>s</b>	[mm]	tloušťka plechu
<b><math>s_1</math></b>	[cm]	tloušťka materiálu
<b><math>v_{opt}</math></b>	[m.min <sup>-1</sup> ]	optimální rychlost řezání
<b><math>v_r</math></b>	[m.min <sup>-1</sup> ]	rychlost řezání
<b><math>\eta</math></b>	[%]	účinnost přeměny energie
<b><math>\rho</math></b>	[g.cm <sup>-3</sup> ]	hustota řezaného materiálu

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Vlastnosti oceli 11375
Příloha 2	Žárové zinkování
Příloha 3	Seznam WPS
Příloha 4	Výkres kotevní desky
Příloha 5	Výkres desky průvlaku
Příloha 6	Parametry plazmového řezání
Příloha 7	Model chladičí věže

# PŘÍLOHA 1

## Vlastnosti oceli S235JR

Přehled vlastností oceli S235JR							1.0038	
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel							
TDP	ČSN EN 10025-2: 2005							
Dřívější označení	S235JRG2 podle EN 10025: 1990 + A1: 1993; RSt 37-2 podle DIN 17100; 11 375 podle ČSN							
Chemické složení v % hmot. (rozb. tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.
	≤16	>16≤40	>40 <sup>1)</sup>					
	0,17	0,17	0,20	1,40	-	0,035	0,035	0,012
Složení hotového výrobku	0,19	0,19	0,23	1,50	-	0,045	0,045	0,014
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R <sub>eH</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
	≤16	>16 ≤40	>40≤83	>83 ≤80	>80 ≤100	>100≤150	>150≤200	>200 ≤250
	235	225	215	215	215	195	185	175
	Pevnost v tahu R <sub>m</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
	≥3≤100		>100≤150			>150≤250		
	360-510		350-500			340-490		
	Minimální tažnost v % ( L <sub>0</sub> = 5.65ÖS <sub>0</sub> ) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm <sup>5)</sup> :							
	>3≤40		>40≤83		>83≤100		>100≤150	
	26		25		24		22	
	Minimální nárazová práce KV (J) při 20 <sup>0</sup> C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm: <sup>2), 5)</sup>							
	≤150				>150≤250			
	27 <sup>4)</sup>				27 <sup>4)</sup>			
Maximální hodnota CEV <sup>3)</sup>	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm							
	≤ 30		>30≤40		>40≤150		>150≤250	
	0,35		0,35		0,38		0,40	

Technologické vlastnosti	
Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 ( EN 1011 ).
Tváření za tepla	Jsou-li dodávány výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žhání.
Tvařitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C ( S235JRC ). To se týká i tažení za studena.
<sup>1)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě. <sup>2)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnota nutno dohodnout <sup>3)</sup> hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV se vypočte z rozboru tavby podle vzorce : CEV = C + Mn : 6 + ( Cr+Mo+V ) : 5 + ( Ni+Cu ) : 15 CEV je volitelný požadavek. <sup>4)</sup> průměrná hodnota vypočtená z výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální průměrná hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty. V opačném případě se odebírají ze zkušebního vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty. <sup>5)</sup> pro podélný směr zkoušení.	

## PŘÍLOHA 2

žárové zinkování 1/5

**WIEGEL**  
**VELKÉ MEZIŘÍČÍ**







### Profesionálové v žárovém zinkování

Wiegel Velké Meziříčí znamená rozsáhlou zkušenost v oboru žárového zinkování. Naš závod je postaven podle nejmodernější koncepce. Pojem „pozinkováno u Wiegela“ je zárukou Vašeho úspěchu na trhu díky kvalitě, servisu a spolehlivému obchodnímu partnerství. Kompetentnost v ochraně proti korozi je pevně spojena s námi, neboť my zaručujeme dlouhodobé a bezúdržbové zachování hodnoty materiálu.

**Ochrana proti korozi  
je naše síla a Vaše  
výhoda**



## 11 argumentů pro žárové zinkování oceli.

Žárové zinkování spolehlivě poskytuje různé přednosti, které jinými protikorozními ochrany nelze dosáhnout ani přibližně. Z těchto důvodů je velmi ceněno jak zpracovateli ocelí, tak i výrobci různých kovových výrobků. Jak zákazníci výrobců ocelových konstrukcí, tak uživatelé kovových výrobků vědí zpravidla velmi málo o žárovém zinkování. Proto tato informace přináší relevantní argumenty, které mají přesvědčit potenciální uživatele o výhodách žárového zinkování.

Druh systému protikorozní ochrany	Doba účinnosti povlaků a náterů proti korozi v letech při venkovních účincích středoevropského klimatu až do nastoupení koroze základního kovu.															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Ocel galvanicky pozinkovaná 5 µm																
Ocel žárově pozinkovaná kontinuálně 20 µm																
Ocel pozinkovaná žárovým nástřikem 100 µm																
Ocel žárově pozinkovaná ponorem 100 µm																
DUPLEX - 100 µm Zn + 2 x 80 µm barva																
Obvyklý náterový systém 160 µm																

### 1. Dlouhodobá životnost

Žárové zinkování představuje extrémně dlouhodobou protikorozní ochranu. Za normálních podmínek ochrání před korozi déle než 40 let a za zhoršených podmínek (např. v průmyslovém prostředí nebo na mořském pobřeží) je životnost zpravidla vyšší než 25 let.



### 2. Spolehlivost

Zinkový povlak, který byl proveden podle ČSN EN ISO 1461, poskytuje spolehlivou protikorozní ochranu. Tato norma jednoznačně stanoví požadavky na povlaky vytvořené žárovým pozinkováním a definuje zkoušky jejich vlastností.



### 3. Odolnost

Povlak vytvořený žárovým zinkováním se vyznačuje specifickými vlastnostmi. Kovový povlak, který je se základní ocelí spojen slitinovou mezivrstvou, je odolný proti poškození při transportu, montáži a provozu. Takových vlastností nelze prakticky jiným způsobem dosáhnout.



### 4. Cena

Náklady na realizaci systému ochrany proti korozi žárovým zinkováním zpravidla nejsou vyšší než náklady na jiné konvenční ochranné systémy pro ocel. Jako průmyslový způsob s vysokou spolehlivostí ho lze provést velmi hospodárně. Snese každé cenové srovnání.



### 5. Bez dodatečného ošetřování

Produkty ošetřené proti korozi žárovým zinkováním nevyžadují žádnou dodatečnou péči, proto tato technologie patří k cenově výhodným dlouhodobým ochranným systémům.



### 6. Optimální v dutinách a na hranách

S aplikací konvenční protikorozní ochrany jsou spojeny především problémy na hranách a v rozích, protože zde je ochranná vrstva příliš tenká. Tyto zóny nepředstavují žádný problém pro žárové zinkování, protože povlak na hranách, v rozích, v koutech a v dutinách má stále stejnou kvalitu.



### 7. Katodická ochrana

Dojde-li při transportu, při montáži nebo provozu k poškození, sehrává významnou roli katodická ochrana, která vytvoří bariéru elektrochemickým způsobem.



### 8. Snadná kontrola

Zinkový povlak může být i laickem snadno kontrolován. Oko neklame. Chyba se snadno pozná, nedá se přehlédnout. Je-li se zinkový povlak jako rovný a rovnoměrný, pak takový ve skutečnosti také je.



### 9. Úspora času

Žárové pozinkování lze provést v krátké lhůtě vždy za optimálních podmínek zcela nezávisle na počasí. Následně na stavbě už protikorozní ochrana nevyžaduje žádnou péči. Povlak lze zatížit ihned po dokončení stavby.



### 10. Dobrý vzhled

Kovový zinkový povlak zdůrazňuje charakter a vlastnosti oceli. Kovový vzhled zůstává zachován právě tak jako povrchová struktura. Vzhled kovového povlaku zinku je příjemný a vizuálně tvoří se základním kovem jednotu.



### 11. Příznivé pro životní prostředí

Žárové zinkování je příznivé pro životní prostředí ze dvou hledisek. Jednak jsou v důsledku snahy o hospodárnou produkci v pozinkovnách redukovány exhalace, odpady i odpadní teplo, a to za současně jejich recyklace. Na druhé straně i pozinkovaná ocel má delší životnost.





## Vlivy životního prostředí způsobující korozi na nechráněné oceli

## Žárové zinkování chrání Vaše ocelové konstrukce před korozi

Pod pojmem žárové zinkování se rozumí namáčení ocelových dílů do tekutého zinku (cca. 450°C). Přitom vzniká masivní, metalický zinkový povlak (podle jakosti materiálu cca 50-150 µm). Mezi železem a zinkem dochází k metalurgické reakci (slitina kovů Fe-Zn). Toto spojení zinku a železa, které vzniká v procesu žárového zinkování, zvyšuje ochranu proti korozi a oproti jiným technologiím se odlišuje především:

- celoplošnou ochranou dílů vně i uvnitř, i na nepřístupných místech (např. duté konstrukce)
- úplnou difusní ochranou oceli
- dlouhodobou ochranou
- katodickou ochranou, to znamená žádná koroze při malém poškození
- vysokou otěruvzdorností a odolností při mechanickém namáhání
- vhodností pro běžné technologie spojování, jako např. šroubování, svařování
- žárové zinkování je technologie šetrná k životnímu prostředí, která je prováděna ve výrobní hale nezávisle na počasí
- hospodárností bez nutnosti údržby a výrazně prodlouženou životností



## Ekonomický užitek

Trvalé a hospodárné zachovávání hodnot pomocí ochrany proti korozi znamená delší životnost materiálů a kratší odstávky zařízení. Žárově pozinkovat, a tím dlouhodobě bezúdržbově chránit povrch proti korozi, je z perspektivního pohledu výhodnější než opakované natírání čistého kovu. Vlivy životního prostředí a tlak na náklady vyžadují nezbytně trvanlivou, hospodárnou a bezúdržbovou ochranu proti korozi. Tou je právě žárové zinkování.

## Životní prostředí a ochrana zdrojů

Zinek je životně důležitý kov, který se v přírodě vyskytuje jako stopový prvek. Rostliny, zvířata a lidé jej potřebují pro rozmnožování, buněčné dělení a růst.

Nejmodernější technologie v našem závodě dbá na to, aby suroviny používané při žárovém zinkování nezatěžovaly životní prostředí, popřípadě aby byly recyklovány ve výrobě.

Mnoholetá životnost žárově pozinkovaných konstrukcí šetří zdroje a tím nepřímo pozitivně chrání životní prostředí. Žárově pozinkované produkty mohou být po spotřebě ze 100% recyklovány.







System Duplex  
na ocelovém nosníku

## Velikost a tvar není problém

Pro každý díl máme správné zařízení. Rozmístění našich závodů vytváří vykonané a pružné propojení kapacit jednotlivých zařízení. Firemní skupina Wiegand disponuje vanami velikosti 3 m až 15,5 m, které jsou Vám k dispozici. Všechny vany jsou kompletně napojeny na filtrační zařízení a odpovídají nejnovějšímu stavu techniky v oblasti ochrany životního prostředí.

## System Duplex (žárové zinkování a barva) - atraktivní ochrana před korozi

Oba antikorozi systémy se doplňují ideálním způsobem a nabízejí:

- více než dvojnásobnou životnost oproti jednotlivým aplikacím
- vytváření barevných efektů
- podle typu objektu signální zvýraznění nebo zamaskování
- optimální ochranu konstrukcí, pokud jsou některé díly pro budoucí údržbu nepřístupné
- díly připravené k montáži



Žárově pozinkované drobné díly

## Vysoká kvalita dosahovaná stálou kontrolou

Kontroly jakosti, které jsou integrované do výrobního procesu, nám zajišťují udržování vysokého jakostního standardu výroby a Vám garantují kvalitní hodnotný výrobek.

Norma DIN 50976 (budoucí EN 1461) zaručuje maximální jistotu a nejlepší ochranu proti korozi.

Kvalita je nám nade vše. Naši kvalifikovaní pracovníci Vám poradí a o Vaše zakázky budou kompetentně pečovat. K tomu přispíváme jejich systematickým vzděláváním a zvyšováním kvalifikace.

Kvůli udržení vysoké kvality jsou naše technologické postupy neustále kontrolovány a optimalizovány vlastním technickým a vývojovým oddělením a laboratoří. Podněty z řad obchodních partnerů jsou však vždy velice vítány.

## Spolehlivost a jistota díky zkušenosti

Jen stěží se najdou otázky k ochraně proti korozi, na které by naše firemní skupina neznala odpověď. Před tím, než začnete konstruovat, poraďte se s námi. Podpoříme Vás technickou radou a rádi Vám poskytneme odpovídající informační materiál.

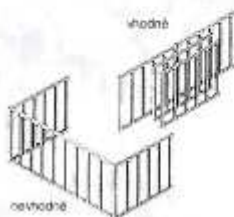


Zimní zahrada se žárově pozinkovanou konstrukcí

# Žárové zinkování – zásady správné konstrukce

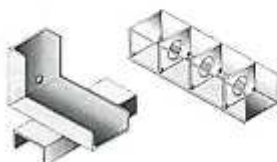
## KONSTRUKCE

**Stavební díly nesmí být rozevřené**



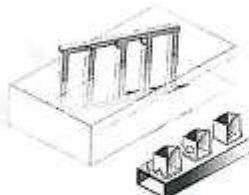
Rozevřené stavební díly mohou vést k problémům zinkování a přepravy. Rovné stavební díly se nechají kvalitativně lépe a hospodárněji pozinkovat. U dutých profilů se musí pamatovat na vtokové a odvzdušňovací otvory.

**Vyhnete se mrtvým rohům a úhlům – pamatujte na drenážní otvory v přepážkách**



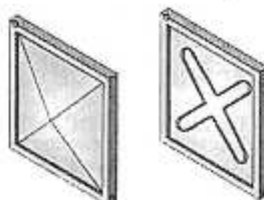
Také u rámových konstrukcí z otevřených profilů dávat pozor na odvzdušnění a drenáže.

**Pamatujte na vtokové a odvzdušňovací otvory**



## Předcházejte deformacím

1. Dodržujte vhodný postup svařování
2. Navrhujte pokud možno symetrické průřezy.
3. Postarejte se o umožnění roztahení (ohyby, prolisy, nahnání plechů apod.)
4. Vyvarujte se použití materiálů s velmi rozdílnou tloušťkou stěny.



## Nesvařujte profily naplocho



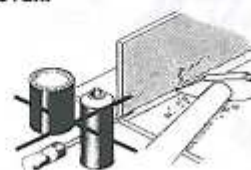
## Dostatečná velikost a počet drenážních a odvzdušňovacích otvorů

Dutý profil	Minimální počet otvorů při počtu otvorů od:		
menší než	1	2	4
15	15	20 x 10	8
20	20	30 x 15	10
30	30	40 x 20	12 10
40	40	50 x 30	14 12
50	50	60 x 40	16 12 10
60	60	80 x 40	20 12 10
80	80	100 x 60	20 16 12
100	100	120 x 80	25 20 12
120	120	160 x 80	30 25 20
160	160	200 x 120	40 25 20
200	200	260 x 140	50 30 25

Bez otvorů není žárové pozinkování dutých konstrukcí možné z důvodu nebezpečí exploze. Uspořádání a velikost otvorů má významný vliv na kvalitu žárového pozinkování. Dimenze otvorů jsou vztaženy na 1 m délky profilu.

## VÝROBA

**Žádná barva, žádné nečistoty po svařování**



Na dílech nesmí být barevné značení ani nečistoty nebo zbytky po svařování, které nejsou rozpustné ve vodě (struska, sválecí sprej, konzervační prostředky, apod.) Tyto nečistoty nelze odstranit mýlením a vedou k vadám zinkování.

## Umožnit zavěšení

Drenážní a odvzdušňovací otvory umístit ve svislé rovině pod možností zavěšení.



## POKYNY

**Mějte na paměti:**

- Ustanovení norem EN ISO 1461 a EN ISO 14713 pro žárové zinkování
- Mastný nebo porézní povrch způsobuje vady pozinkování
- Uklidňené oceli vedou k tlustým a křehkým povlakům
- Díry pro šrouby vrtat 2 mm nad jmenovitý rozměr
- K žárově zinkovaným konstrukcím patří žárově zinkované spojovací součásti
- Poškozený Zn-povlak musí být odborně ošetřen
- Lícované plochy je obvykle nutno vhodným způsobem ochránit před pozinkováním
- Zinkovna vám bezplatně poskytne odbornou poradenskou službu



**Wiegel CZ žárové zinkování s.r.o.**  
závod Velké Meziříčí  
info@wvz.wiegel.cz • tel.: 566 503 611  
max. rozměry dílů: 15,2 x 1,7 x 2,8 m

www.wiegel.cz

**Wiegel CZ žárové zinkování s.r.o.**  
závod Hradec Králové  
info@wvz.wiegel.cz • tel.: 495 737 000  
max. rozměry dílů: 6,8 x 1,7 x 2,45 m

Člen Asociace českých zinkoven

**Wiegel Žebrák**  
žárové zinkování s.r.o.  
info@wvz.wiegel.cz • tel.: 311 545 400  
max. rozměry dílů: 6,8 x 1,6 x 2,2 m



## PŘÍLOHA 3

Specifikace svařovacích postupů 1/3

### ŘAZENÍ PODLE ČÍSLA WPS

označení	druh svaru	jakost mat.	tlošťka mat.	ochranný plyn	poloha
WPS M01	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	5	EN 439 : C1	PB
WPS M02	V - vícevrstvý	S235JRG2	5	EN 439 : M21	PA
WPS M03	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S355J2G3	10	EN 439 : M21	PB
WPS M04	V - vícevrstvý	11 353	10	EN 439 : C1	H-L045
WPS M05	V - vícevrstvý	S235JRG2	10	EN 439 : M21	PA
WPS M06	V - vícevrstvý	S235JRG2	10	EN 439 : C1	PA
WPS M07	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	6	EN 439 : M21	PA
WPS M08	V - vícevrstvý	S235JRG2	8	EN 439 : C1	PA
WPS M09	V - vícevrstvý	S235JRG2	8	EN 439 : M21	PA
WPS M10	V - vícevrstvý	S235JRG2	6	EN 439 : C1	PA
WPS M11	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	8	EN 439 : C1	PB
WPS M12	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	6	EN 439 : M21	PB
WPS M13	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	4	EN 439 : M21	PB
WPS M14	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	4,5	EN 439 : M21	PB
WPS M15	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S235JRG2	12	EN 439 : M21	PB
WPS M16	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S235JRG2	10	EN 439 : C1	PB
WPS M17	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S235JRG2	12	EN 439 : C1	PB
WPS M18	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	3	EN 439 : M21	PB
WPS M19	V - jednovrstvý	S235JRG2	3	EN 439 : C1	PA
WPS M20	V - jednovrstvý	S235JRG2	4	EN 439 : C1	PA
WPS M21	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	3	EN 439 : M21	PA
WPS M22	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	5	EN 439 : M21	PA
WPS M23	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	3,6	EN 439 : M21	PB
WPS M24	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S355J2G3	8	EN 439 : M21	PB
WPS M25	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S355J2G3	12	EN 439 : M21	PB
WPS M26					
WPS M27	1/2 V - vícevrstvý	S355	10	EN 439 : C1	PA
WPS M28	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S355	6	EN 439 : M21	PB
WPS M29	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S355	8	EN 439 : M21	PB
WPS M30	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S355	10	EN 439 : M21	PB
WPS M31	V - vícevrstvý	S355	6	EN 439 : C1	PA
WPS M32	V - vícevrstvý	S355	8	EN 439 : C1	PF
WPS M33	V - vícevrstvý	S355	10	EN 439 : C1	PF
WPS M34	V - vícevrstvý	S355	10	EN 439 : C1	PA
WPS M35	1/2 V - vícevrstvý	S355	8	EN 439 : C1	PA
WPS M36	1/2 V - vícevrstvý	S355	8	EN 439 : C1	PF
WPS M37	1/2 V - vícevrstvý	S355	6	EN 439 : C1	PA

WPS M38	1/2 V - vícevrstvý	S235	3	EN 439 : M21	PA
WPS M39	1/2 V - vícevrstvý	S235	6	EN 439 : M21	PA
WPS M40	V - jednovrstvý (plochý)	S235	5	EN 439 : M21	PA
WPS M41	V - jednovrstvý (plochý)	S235	3	EN 439 : M21	PA

Přednostně předepisovat směsný ochranný plyn **"EN 439 : M21"**

Pro malé součásti, které lze při svařování polohovat přednostně předepisovat polohu svařování **"PA"**

Velké součásti, které nelze polohovat - poloha sváření **"PB"**

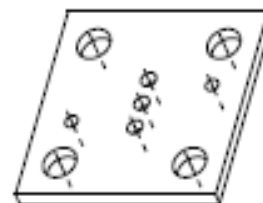
#### ŘAZENÍ PODLE TLOUŠTKY MATERIÁLU

označení	druh svaru	jakost mat.	tloušťka mat.	ochranný plyn	poloha
WPS M18	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	3	EN 439 : M21	PB
WPS M19	V - jednovrstvý	S235JRG2	3	EN 439 : C1	PA
WPS M21	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	3	EN 439 : M21	PA
WPS M38	1/2 V - vícevrstvý	S235	3	EN 439 : M21	PA
WPS M41	V - jednovrstvý (plochý)	S235	3	EN 439 : M21	PA
WPS M23	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	3,6	EN 439 : M21	PB
WPS M13	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	4	EN 439 : M21	PB
WPS M20	V - jednovrstvý	S235JRG2	4	EN 439 : C1	PA
WPS M14	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	4,5	EN 439 : M21	PB
WPS M01	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	5	EN 439 : C1	PB
WPS M02	V - vícevrstvý	S235JRG2	5	EN 439 : M21	PA
WPS M22	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	5	EN 439 : M21	PA
WPS M40	V - jednovrstvý (plochý)	S235	5	EN 439 : M21	PA
WPS M07	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	6	EN 439 : M21	PA
WPS M10	V - vícevrstvý	S235JRG2	6	EN 439 : C1	PA
WPS M12	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	6	EN 439 : M21	PB
WPS M28	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S355	6	EN 439 : M21	PB
WPS M31	V - vícevrstvý	S355	6	EN 439 : C1	PA
WPS M37	1/2 V - vícevrstvý	S355	6	EN 439 : C1	PA
WPS M39	1/2 V - vícevrstvý	S235	6	EN 439 : M21	PA
WPS M08	V - vícevrstvý	S235JRG2	8	EN 439 : C1	PA
WPS M09	V - vícevrstvý	S235JRG2	8	EN 439 : M21	PA
WPS M11	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S235JRG2	8	EN 439 : C1	PB
WPS M24	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S355J2G3	8	EN 439 : M21	PB
WPS M29	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S355	8	EN 439 : M21	PB
WPS M32	V - vícevrstvý	S355	8	EN 439 : C1	PF
WPS M35	1/2 V - vícevrstvý	S355	8	EN 439 : C1	PA
WPS M36	1/2 V - vícevrstvý	S355	8	EN 439 : C1	PF

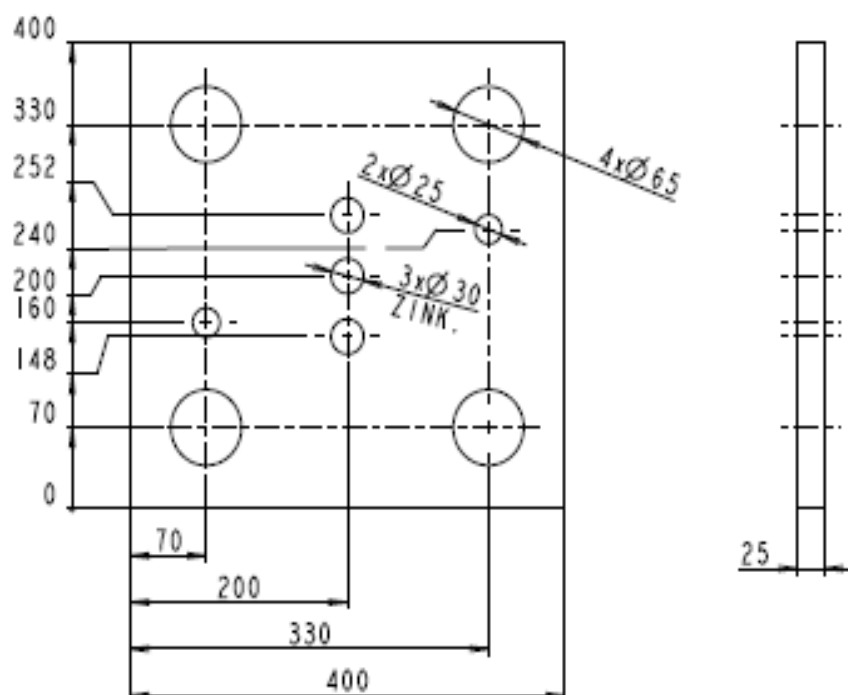
WPS M03	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S355J2G3	10	EN 439 : M21	PB
WPS M04	V - vícevrstvý	11 353	10	EN 439 : C1	H-L045
WPS M05	V - vícevrstvý	S235JRG2	10	EN 439 : M21	PA
WPS M06	V - vícevrstvý	S235JRG2	10	EN 439 : C1	PA
WPS M16	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S235JRG2	10	EN 439 : C1	PB
WPS M27	1/2 V - vícevrstvý	S355	10	EN 439 : C1	PA
WPS M30	KOUTOVÝ - jednovrstvý	S355	10	EN 439 : M21	PB
WPS M33	V - vícevrstvý	S355	10	EN 439 : C1	PF
WPS M34	V - vícevrstvý	S355	10	EN 439 : C1	PA
WPS M15	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S235JRG2	12	EN 439 : M21	PB
WPS M17	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S235JRG2	12	EN 439 : C1	PB
WPS M25	KOUTOVÝ - vícevrstvý	S355J2G3	12	EN 439 : M21	PB

## PŘÍLOHA 4

Výkres kotevní desky



1:10

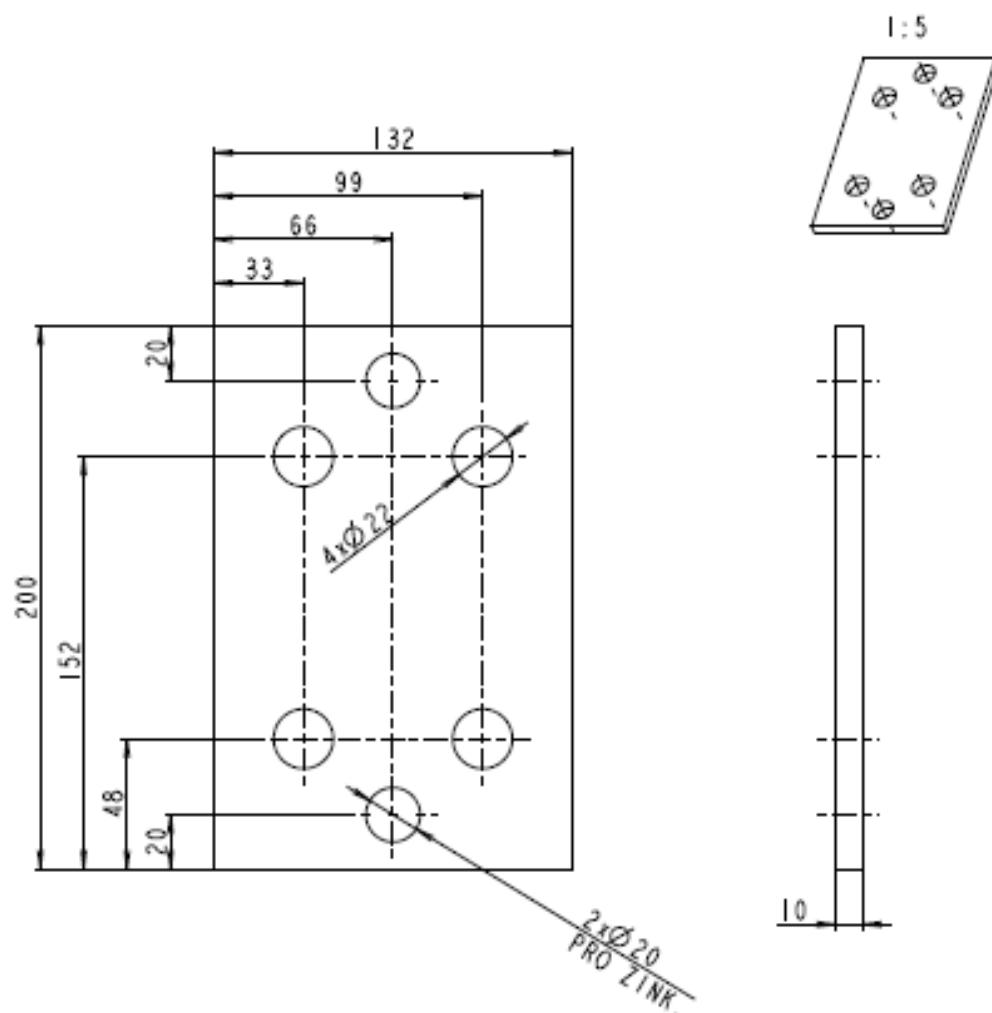


	PLECH TL25	EN 10029-A-N	15	S235JRG2	400x400		28.2
POS.	NAME	DRAWING NO.	PIECES	MATERIAL	DIMENSIONS	BRUTTO MASS [kg]	NETTO MASS [kg]
DRAW:	Bc. DOBIAS			SCALE			
CHECKED:				1:5			
APPROVED:		DATE: 08-May-12					
		BELONG TO: CTF 100/11		NUMBER OF PAGES:	1 / 1		
		NAME: PLATE_01		NAME: 110060-6000-5001		EDITION: 1	
						FORMAT: A4	



## PŘÍLOHA 5

Výkres desky průvlaku



		PLECH TL10	EN 10051+A1	144	S235JRG2	132x200		1.9	
POS.		NAME	DRAWING NO.	PIECES	MATERIAL	DIMENSIONS	BRUTTO MASS [kg]	NETTO	
DRAW:	Bc. DOBIAS	<i>Bc. DOBIAS</i>		SCALE  1:2					
CHECKED:									
APPROVED:		DATE:	08-May-12						
		BELONG TO: CTF 100/11			NUMBER OF PAGES:		1 / 1		
		NAME:			NAME:				IDENTIFICATION
		PLATE_02			110060-6Q00-5002				1
									FORMAT A4

## PŘÍLOHA 6

### Parametry řezání

Hořák Maximizer300      Plazmový plyn: Vzduch      Sekundární plyn: Vzduch      Materiál: Železo												
Tloušťka mat. (mm)	Elektrode Kat. číslo	Gas Distributor Kat. číslo	Tip Kat. číslo	End Cap Kat. číslo	Proud (A)	Napětí (V)	Přibližná rychlost řez. (m/min)	Výška řezací (m/min)	Tlak plaz. plynu (bar)	Tlak sek. plynu (bar)	Děrování (sekundy)	Výška děrovací (m/min)
0,9	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	150	20,3	3,2	4,1	1	0,0	6,3
1,6	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	150	8,9	6,3	4,1	1	0,0	6,3
3,2	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	155	4,2	6,3	4,1	1	0,0	6,3
4,8	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	155	2,5	6,3	4,1	1	0,25	9,5
6,4	20-1018	20-0008	20-1030	20-1003	50	160	1,2	6,3	4,1	1	0,5	9,5
1,6	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	155	11,4	4,8	4,8	1,4	0,0	9,5
3,2	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	155	6,3	4,8	4,8	1,4	0,0	9,5
4,8	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	155	4,8	4,8	4,8	1,4	0,0	9,5
6,4	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	155	3	4,8	4,8	1,4	0,0	9,5
9,5	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	160	1,9	4,8	4,8	1,4	0,5	6,3
12,7	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	160	1,5	4,8	4,8	1,4	0,5	6,3
15,9	20-1018	20-0008	20-1031	20-1004	100	160	1,1	6,3	4,8	1,4	0,5	9,5
6,4	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	150	3,1	6,3	4,8	1,4	0,0	9,5
9,5	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	150	2,5	6,3	4,8	1,4	0,5	12,7
12,7	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	155	2	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
15,9	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	155	1,5	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
19,1	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	155	1,1	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
25,4	20-1018	20-0008	20-1032	20-1004	150	165	0,7	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
12,7	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	225	140	2,5	6,3	4,8	1,4	0,0	12,7
15,9	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	225	140	1,9	6,3	4,8	1,4	0,25	12,7
19,1	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	225	140	1,4	7,9	4,8	1,4	0,5	12,7
25,4	20-1018	20-0008	20-1033	20-1004	225	155	0,6	7,9	4,8	1,4	0,75	12,7
19,1	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	155	1,7	9,5	5,5	3,1	0,75	12,7
25,4	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	155	1	9,5	5,5	3,1	0,75	12,7
31,8	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	165	0,7	9,5	5,5	3,1	-	-
38,1	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	172	0,4	9,5	5,5	3,1	-	-
44,5	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	180	0,3	9,5	5,5	3,1	-	-
50,8	20-1021	20-1009	20-1034	20-1005	300	185	0,2	9,5	5,5	3,1	-	-

## PŘÍLOHA 7

Model chladicí věže

